

Verlag
Stahl
30-3-24

LIBRARY
UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

Großzahlforschung

Grundlagen und Anwendungen eines neuen
Arbeitsverfahrens für die Industrieforschung
mit zahlreichen praktischen Beispielen

Von Dr.-Ing. Karl Daeves

Mit 19 Zahlentafeln und 40 Abbildungen

THE LIBRARY OF THE
JUL 28 1925
UNIVERSITY OF ILLINOIS

Sonderheft der Fachausschüsse des
Vereins deutscher Eisenhüttenleute:
Werkstoffausschuß, Bericht Nr. 43

Alle Rechte aus dem Gesetz vom 19. Juni 1901
sowie das Uebersetzungsrecht sind vorbehalten.

311
D138

REMOTE STORAGE

UNIVERSITY OF ILLINOIS
URBANA

6d226

Inhaltsangabe.

Entstehung und Grundlagen eines neuen Arbeitsverfahrens für den Industrieforscher. Uebertragung statistischer Gesetze und Begriffe auf die Industrieforschung. An Hand zahlreicher, der Praxis entnommenen Beispiele wird Anwendungsart und Anwendbarkeit der Großzahlforschung gezeigt. Im einzelnen beziehen sich die Beispiele auf Auswertung von Betriebsmessungen über Temperaturen, Analysen und Festigkeitswerte; Feststellung der Homogenität von Material; Aufstellung von Normen und Lieferungsvorschriften, Streuungsmaße als Gütemaßstäbe, Gleichmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit; Untersuchung blasiger Bleche, Vergleich sauren und basischen Stahls, Streuungen im Kohlenstoffgehalt eines Sonderstahls in Abhängigkeit von Meistern, Ofenzuständen und Arbeitsschichten; Leistungskontrollen von Laboranten, Leistungen von Generatoren und Kesselanlagen, Güte von Instrumenten (Planimeter); Förderleistungen von Zechen, Beziehung zwischen Härte und Festigkeit. Die Ergebnisse der Gemeinschaftsarbeit deutscher Werke über den Einfluß der einzelnen chemischen Bestandteile auf Zerreißfestigkeit und Dehnung von Stählen werden in Form von Zahlentafeln und Schaubildern wiedergegeben. Einfluß der Blechdicke auf die Festigkeitswerte von Blechen. Kaufmännische Anwendungen. Laufende Großzahlforschung mit Hilfe der Großzahltafel. Bedeutung der Erfahrung. Aufdeckung von Kausalzusammenhängen. Vergleich von Betriebsdiagrammen und Betriebskurven. Bedeutung graphischer Darstellungen für die technische Leitung. Der Ingenieur als Träger des neuen Verfahrens.

28 f 225-9

p50316

Verfahren der Forschung.

Die Naturwissenschaften bedienen sich zur Auffindung von Gesetzmäßigkeiten im allgemeinen solcher Versuche, die den zu beobachtenden Vorgang möglichst frei von allen Nebeneinflüssen ablaufen lassen, um unbeeinflusste, genaue Zahlenwerte zu bekommen. Je genauer diese Bedingung eingehalten wird, um so sicherer erscheint auch das Ergebnis. Solche Präzisionsmessungen haben vielfach erst zur Aufdeckung von Abweichungen von dem in erster Annäherung geltenden Gesetz und damit zur Entdeckung weiterer Gesetzmäßigkeiten geführt. Eine andere Frage ist die, ob es überhaupt möglich ist, alle Nebeneinflüsse auszuschalten. Wir sind schließlich für die meisten Versuche an die auf unserer Erdoberfläche herrschenden Bedingungen gebunden und müßten mithin streng genommen bei jedem Ergebnis etwa angeben: Diese Zahl wurde gewonnen unter Ausschaltung der bekannten Einflüsse A, B, C usw., unter Konstanthalten der bekannten Umstände H, I, K, im übrigen unter den Verhältnissen, wie sie am Versuchstage am Beobachtungsort herrschten. Man sieht, daß eine allzuweit getriebene Ausschaltung von Nebenumständen wenig Zweck hat, da immer noch Einflüsse vorhanden sind, die wir nicht ausschalten oder festlegen können, weil wir sie gar nicht kennen. In der Tat haben neuere Forschungen z. B. gezeigt, daß der Ablauf gewisser uns selbstverständlich erscheinender Vorgänge, wie das Verbrennen von Phosphor in reinem Sauerstoff, überhaupt nur stattfindet, wenn eine ganz geringe Spur Feuchtigkeit vorhanden ist. Wird auch diese, bisher nicht beachtete Menge entfernt, so ist der Ablauf der Vorgänge ein völlig anderer.

Auf manchen Gebieten, z. B. der Zoologie, Biologie, Psychologie und bei Untersuchung der Gesetzmäßigkeiten des menschlichen Gesellschaftslebens, sind die Nebenumstände so zahlreich und so wenig unseren Einwirkungen unterworfen, daß eine Ausschaltung oder auch nur ein Konstanthalten der Nebeneinflüsse beim Aufsuchen von Gesetzmäßigkeiten aussichtslos erscheint. Hier bedient man sich daher vielfach merkwürdiger Erfahrungsgesetze, die in ihren tiefsten Grundlagen noch wenig erforscht sind und mit kausalem Denken oft in Widerspruch zu geraten scheinen. Sie wurden wohl zuerst bei Zufallsspielen erkannt; die sich damit

beschäftigende Wissenschaft kann man mit einem Sammelnamen als Wahrscheinlichkeitslehre bezeichnen.

Wenn man einen Würfel, der auf drei Seiten rote, auf den drei anderen schwarze Farbe trägt, aus einer genau bestimmten Lage, aus bekannter Höhe mit einer bekannten Kraft auf den Tisch fallen läßt und auch sonst alle Eigenschaften des Würfels, der Tischplatte, des Zwischenmediums usw. bekannt sind, so wird man berechnen können, welche Seite nach dem Fall nach oben zu liegen kommt. Wenn aber alle diese Einzelumstände nicht bekannt sind — wie das meist der Fall ist — und man den Würfel einfach aus der Hand fallen läßt, so wird man keine derartige Voraussage machen können; es wird, wie man sagt, vom Zufall abhängen, welche Farbe der Würfel nach dem Fall zeigt. Wiederholt man jedoch das Werfen sehr oft, so kann man erfahrungsgemäß wieder eine Aussage über die erscheinende Farbe machen; zwar nicht für den Einzelwurf, wohl aber für die Gesamtzahl der Würfe. Man kann sagen, daß das Verhältnis der Rotwürfe zu den Schwarzwürfen sich um so mehr dem Verhältnis 3 : 3 oder 1 : 1 nähern wird, je größer die Zahl der Würfe ist.

Wären auf dem Würfel nur zwei schwarze, aber vier rote Flächen vorhanden, so wird sich bei einer großen Zahl von Würfeln das Verhältnis der beiden Farben immer mehr dem Wert 2 : 4 oder 1 : 2 nähern.

Ein anderes Beispiel: In einer Urne sollen gleich viel schwarze und weiße Kugeln enthalten sein; wenn man nun oftmals hintereinander wahllos je 1000 Kugeln der Urne entnimmt, so wird man unter den gezogenen Kugeln zwar selten genau 500, aber meist wenigstens 450 und höchstens 550 weiße Kugeln vorfinden. Stellt man fest, wie oft man die einzelnen, zwischen diesen Grenzen liegenden Zahlen unter einer großen Zahl von Tausenderziehungen erhält und trägt die Werte in ein Schaubild, das als Abszisse die Anzahlen der unter 1000 gezogenen Kugeln vorhandenen weißen Kugeln, als Ordinate die Häufigkeit angibt, mit der die einzelnen Zahlen vorkommen (fünfmal, zehnmal, hundertmal), so erhält man ein Schaubild nach Abb. 1¹⁾. Es ist also

1) Das Beispiel ist dem Werk von H. E. Timerding: „Analyse des Zufalls“, Braunschweig 1915, entnommen.

Wahrscheinlichkeitslehre.

damit unter Voraussetzung gleichmäßiger Verteilung der Kugeln möglich, aus zahlreichen Ziehungen einen sicheren Schluß auf das aus irgendwelchen Gründen vielleicht unbekannte Verhältnis der Gesamtkugeln in der Urne zu machen. Die erhaltene Kurve bezeichnet man als Häufigkeitskurve. Im Idealfall entspricht sie einer mathematischen Gleichung, wie sie von Gauß über die Lage zufälliger Fehlerabweichungen aufgestellt wurde; sie

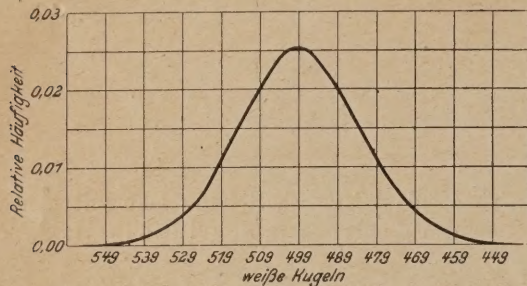


Abbildung 1. Häufigkeitskurve für Ziehungsergebnisse.

führt daher auch den Namen Gauß'sche Fehlerkurve. In der Gleichung der Fehlerkurve:

$$y = \frac{C_n}{\sqrt{\pi}} \cdot g \cdot e^{-g^2 x^2}$$

bedeutet y die Ordinate, x die Abszisse, n die Zahl der zur Beobachtung verwendeten Fälle und g den Parameter, der die Höhe des Maximums angibt; e und π sind die bekannten Zahlenkonstanten.

Die Entstehung des Höchstwertes, der das Allgemeingesetz des jeweils untersuchten Falles darstellt — daß nämlich das Verhältnis der roten und schwarzen Flächen auf dem Würfel selbst 3 : 3 oder 2 : 4 beträgt, oder daß in der unzugänglichen Urne die gleiche Zahl schwarze und weiße Kugeln vorhanden ist —, kann man sich so erklären, daß zwar bei jedem Wurf oder bei jeder Ziehung eine sehr große Anzahl von Nebenumständen, d. h. der Zufall, bewirkt, ob man schwarz bekommt oder nicht, daß aber alle diese Umstände bald in der einen, bald in der andern Richtung wirken können, so daß sie sich bei großer Zahl der Prüfungen gegenseitig aufheben und nur das Grundverhältnis zum Ausdruck kommt. Das Wesentliche ist immer die große Zahl der Beobachtungen, durch die sich erst die Wahrscheinlichkeit ergibt, im Höchstwert der Häufigkeitskurve einen für das untersuchte Material kennzeichnenden Wert vor sich zu haben.

Gesetz der großen Zahlen.

Man spricht von einem „Gesetz der großen Zahlen“ und versteht darunter nach Zižek¹⁾, dem ich in nachstehenden Erläuterungen folge, die Tatsache, daß man durch Zusammenfassung größerer Mengen von Beobachtungen zu Zahlenwerten gelangt, die das Ergebnis der in der betreffenden Beobachtungsmasse wirkenden allgemeinen Konstanten und (kennzeichnenden) Ursachen widerspiegeln. Im Gegensatz dazu werden die Einzelfälle nicht nur von den allgemeinen, sondern auch von individuellen Momenten

beeinflusst, so daß sie mannigfache Verschiedenheiten aufweisen. Das Gesetz der großen Zahlen ist im Gebiete der Mathematik und Wahrscheinlichkeitsrechnung entstanden und schnell von der Statistik, soweit sie sich mit den Verhältnissen der menschlichen Gesellschaft beschäftigte, angewendet worden. Die einzelnen statistischen Ereignisse treten scheinbar ebenso regellos auf, wie bald eine schwarze, bald eine weiße Kugel aus der Urne kommt; bei Zusammenfassung größerer Beobachtungsmassen ergeben sich jedoch kennzeichnende Beziehungen, und die zufällig störenden Momente werden um so mehr ausgeschaltet, je größer die Zahl der Beobachtungsdaten ist. Das Wirken der allgemeinen Ursachen kommt um so mehr zur Geltung, je mehr Beobachtungen gemacht und zusammengefaßt werden. Die Körperlänge einzelner Individuen, Lohnraten, Ehedauern schwanken derart um einen Mittelwert, daß sich in diesem die individuellen Schwankungen mehr oder weniger aufheben, und er das Allgemeingültige darstellt.

Oft wird dieser Idealfall nicht zutreffen, weil es vielleicht gar keine die Beobachtungswerte beherrschenden allgemeinen Ursachen gibt (etwa weil sie nicht in sich homogen sind), oder weil störende Ursachen auftreten, die voneinander nicht unabhängig sind und nicht entsprechend dem Zufall auf der Plus- und Minusseite gleichmäßig verteilt sind. Immer aber ist der dem Gesetz der großen Zahlen zugrunde liegende Gedankengang für das im folgenden beschriebene Verfahren von grundlegender Bedeutung.

Gelegentlich der statistischen Durch- **Entstehung der Großzahl-**
arbeitung von Zahlenmaterial, wie es in forschung.
den Analysen- und Abnahmebüchern eines großen Werkes vorlag, stellte der Verfasser fest, daß das Gesetz der großen Zahlen auch für Industrieerzeugnisse und Verhältnisse weitgehend anwendbar war, und veröffentlichte an Hand von Beispielen einige Anregungen in dieser Richtung¹⁾. Da sich diese als sehr fruchtbar erwiesen, schien es zweckmäßig, die neue Art der Anwendung statistischer Verfahren in der Industrie auch mit einem besonderen Kennwort zu bezeichnen, um sie von der Tätigkeit der in der Industrie für andere Zwecke bereits bestehenden statistischen Büros zu unterscheiden, und nicht mit der bekannten Forderung, daß Statistik Anwendung der statistischen Methode nur auf die Untersuchungen der Massenerscheinungen des gesellschaftlichen Menschenlebens bedeute²⁾, in Konflikt zu kommen. Bei der überragenden Bedeutung des Gesetzes der großen Zahlen und der forschenden und die Zusammen-

¹⁾ K. Daeves: „Auswertung statistischer Unterlagen für Betriebsüberwachung und Forschung“. Berichte der Fachausschüsse des Vereins deutscher Eisenhüttenleute. Werkstoffausschuß - Bericht Nr. 18 vom 28. April 1922.

²⁾ Vgl. z. B. das Kapitel von H. Wolff: „Die Statistik in der Wissenschaft“ in dem Werk: Die Statistik in Deutschland nach ihrem heutigen Stand; Ehrengabe für G. v. Mayr, München und Berlin 1911. Ferner die Auffassung von Lexis nach A. Kaufmann: „Theorie und Methoden der Statistik“. Tübingen 1923.

¹⁾ Franz Zižek: „Grundriß der Statistik“. München 1921.

hänge ergründenden Richtung des Verfahrens wurde der Begriff „Großzahlforschung“ geprägt¹⁾. Entsprechend der Vorliebe des Ingenieurs für bildliche Darstellungen²⁾ bedient sich die Großzahlforschung in der Hauptsache graphischer Methoden, jedoch ist dies keine notwendige Bedingung ihrer Anwendbarkeit. Ebenso werden, wie auch in der praktischen Psychologie³⁾, mit Vorteil abzählende statt summerierender Verfahren angewendet. Die Bedeutung des arithmetischen Mittels tritt z. B. zurück gegen denjenigen Wert, der am häufigsten in einer Reihe auftritt.

Definition. Von einer genaueren Definition der Großzahlforschung kann hier abgesehen werden, denn auch eine Benennung, ein Begriff stellt nur eine Zusammenfassung von Erfahrungen dar. Diese Erfahrungen werden zunächst rein gefühlsmäßig in einer besonderen Abteilung unseres Gehirns gesammelt und später mit dem Etikett des Gesamtbegriffs versehen. Nach dem Studium dieser Schrift und nach praktischer Anwendung der Großzahlforschung wird der Leser in sich selbst über den Komplex von Anwendungen des neuen Verfahrens im klaren sein, den er fortan mit „Großzahlforschung“ bezeichnen will.

Nachprüfung durch Gemeinschaftsarbeit. Zur Nachprüfung des Verfahrens hatte der Verein deutscher Eisenhüttenleute vor einiger Zeit auf Vorschlag des Verfassers eine Gemeinschaftsarbeit der deutschen Eisenhüttenwerke eingeleitet, die in großzügigster Weise reichen Zahlenstoff zur Verfügung stellten. Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist der, an Hand der eingehenden ausgewerteten Zahlenmengen, unter Zuhilfenahme von eigenen Untersuchungen, einen Ueberblick über die Anwendungsmöglichkeiten und Verfahren der Großzahlforschung zu geben und gleichzeitig die in der Statistik bisher bekannten Methoden und Verfahren auf das neue Anwendungsgebiet zu übertragen.

Die Großzahlforschung ist zunächst grundsätzlich überall da anwendbar, wo größere Zahlenmengen über die Eigenschaft oder das Verhalten eines in sich einigermaßen homogenen Materials vorliegen. Es ist dabei gleichgültig, ob es sich um Rohstoffe, Fertigerzeugnisse oder Leistungen von Maschinen und Menschen handelt, ebenso wie sich die Zahlenangaben auf Zusammensetzung, Abmessungen, Eigenschaften, Leistungen und Wirkungsgrade beziehen können.

Man bezeichnet eine Zusammenfassung gleichartiger Gegenstände, Verfahren usw., wie sie die

Grundlage für die Großzahlforschung bilden, mit dem Namen Kollektiv (Sammelgegenstand) und die Anzahl der in ihm vereinigten Einzelgegenstände, Eigenschaftszahlen u. dgl. als Umfang des Kollektivs. Die Vermessung oder Eigenschaftsangabe des Kollektivs liefert eine Zahlenreihe, wie sie sich ohne jede Ordnung in den Analysenbüchern u. dgl. vorfindet, die sogenannte Urliste.

Schon diese Zahlen lassen wertvolle Schlüsse zu. Nehmen wir einmal an, es läge eine Reihe Temperaturmessungen vor, die mit Hilfe eines optischen Pyrometers an einem Glühofen im Verlauf längerer Zeit gemacht worden sind. Da das Instrument eine Einteilung von Grad zu Grad trägt, müßte nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Anzahl der vorhandenen geraden und ungeraden Zahlen in etwa gleich sein. Man wird aber bei graphischer Auftragung von derartigen Zahlenwerten für Temperaturmessungen, Analysen, Längenmessungen u. dgl. in ein Schaubild, dessen Abszisse die Eigenschaftswerte angibt, während die Ordinate zeigt, wie oft die einzelnen Eigenschaftszahlen vorkommen, sehr oft Schaubilder nach Art der Abb. 2 erhalten. Es finden sich Häufigkeits-

Häufungen bei bestimmten Zahlenwerten.

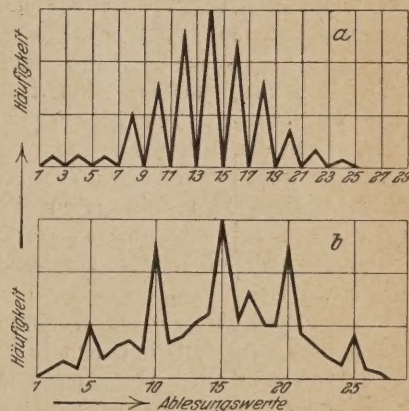


Abbildung 2. Häufigkeitskurven von Beobachtern, die eine Vorliebe für ungerade Zahlen (a) oder für durch 5 teilbare Zahlen (b) haben und daher ungenau ablesen.

stellen bei allen ungeraden Zahlen (a) oder auch bei allen durch 5 oder 10 teilbaren Zahlen (b)¹⁾. Ergibt sich ein solches Bild, so kann man mit Sicherheit darauf schließen, daß die Messungen nicht auf eine Einheit genau gemacht wurden, sondern daß sie mehr oder weniger geschätzt wurden.

Ähnlich zeigten die Zerreißwerte mancher Werke deutliche Häufungen in der Nähe der Zehner, Fünfer und Zweier, da die Belastung der Maschine durch Aufsetzen von Gewichtsstücken, die mit 10, 5, 2, 2, 1 kg aufeinander folgten, hervorgerufen wurde.

Bei Durchprüfung der Analysenwerte für den Schwefelgehalt einer bestimmten Stahlsorte ergab sich die merkwürdige Tatsache, daß die Zahlen

¹⁾ K. Daeves: „Auswertung statistischer Unterlagen für Betriebsüberwachung und Forschung (Großzahlforschung)“, St. u. E. 43 (1923), S. 462/6, und „Großzahlforschung, ein neues Mittel zur Verwertung der Erfahrung in Industrie und Industrieforschung“, Z. d. V. d. I. 67 (1923), S. 643/4.

²⁾ Es ist bezeichnend, daß in der erwähnten Ehrengabe für G. v. Mayr der Abschnitt von Siegmund Schott: „Graphische Darstellungen“, keine einzige Abbildung enthält.

³⁾ Vgl. Otto Lipmann: „Abzählende Methoden und ihre Verwendung in der psychologischen Statistik“, Leipzig 1921.

¹⁾ Vgl. z. B. amerikanische Messungen über Ofentemperaturen. (Carn. Schol. Mem. 12 [1923], S. 63/7.)

0,019, 0,021, 0,029, 0,031, 0,039, 0,041 % S usw. vollständig fehlten, während dafür die Zehnerwerte um so ausgeprägter vorhanden waren. Die Erscheinung dauerte nur 14 Tage und verschwand dann wieder. Da der Stahl selbst unmöglich eine besondere Vorliebe für die Zehnerwerte haben konnte, wurde den Ursachen nachgegangen, und man stellte fest, daß die Analysenergebnisse in diesem Zeitraum von einem Vertreter des sonst hierfür beschäftigten Laboranten ausgeführt waren, der seine Rechnungen nicht genau, sondern mit Hilfe des Rechenschiebers auszuführen pflegte. Auch bei der Zusammenstellung von Mangangehalten fehlten bei einem Werk stets gewisse Zahlen. Es muß dies auf Eigentümlichkeiten des Titrierverfahrens zurückgeführt werden.

Bei Kohlenstoffanalysen eines laufend mit einem bestimmten Kohlenstoffgehalt von z. B. 0,01 % C hergestellten Blechmaterials wird man bei Nachprüfung der in der Reihenfolge, wie sie fallen, aufgezeichneten Chargenanalysen finden, daß schon je 10 Werte einen Mittelwert ergeben, der ziemlich genau bis in die letzte Stelle mit dem sich aus den vorigen und nächsten 10 Zahlen ergebenden Mittelwert übereinstimmt. Es ist allgemein zu beachten, daß die Mittelwerte auch dann bis in viel weitergehende Stellen nach dem

Komma übereinstimmen müssen, wenn das Analysenverfahren selbst eine solche Genauigkeit gar nicht zuläßt. Denn die Mittelwerte sind zwar entstanden aus einer großen Zahl an sich nicht genauer Werte, aber in der großen Zahl heben sich die Fehlerabweichungen vom tatsächlichen Wert nach der Plus- und Minusseite derart auf, daß der Mittelwert selbst genau ist.

Stellt man nun fest, daß von einem bestimmten Zeitpunkt an der Mittelwert von dem bisherigen abweicht, so kann man mit Sicherheit auf irgendeine Aenderung im Herstellungsverfahren (anderer Rohstoff, andere Glühtemperaturen, andere Meister usw.) rückschließen.

Aus der Urliste ist noch nicht zu erkennen, wie die beobachteten Werte auf die einzelnen Glieder verteilt sind. Erst nachdem sie arithmetisch geordnet wurden, läßt sich z. B. der kleinste und der größte in dem Kollektiv vorkommende Eigenschaftswert feststellen, die die Variationsbreite oder -weite begrenzen.

Ordnet man die Urliste der Größe nach, so entsteht die sogenannte primäre Verteilungstafel.

Sind die einzelnen Eigenschaftswerte zu zahlreich, als daß sie unmittelbar in die Häufigkeitskurve eingetragen werden könnten, so beginnt die Einteilung des Kollektivs in Klassen. Man bildet einen an sich willkürlichen, jedoch stets gleichbleibenden Maßstab, der dann das Klassenintervall oder die Klassengröße darstellt. Würden z. B. als Eigenschaftswerte die Zahlen 1 bis 100 auftreten, so würde man eine Klasseneinteilung derart versuchen, daß man die Gruppen 1 bis 10, 11 bis 20,

21 bis 30 usw. zusammenfaßt. Alle Glieder des Kollektivs, deren Eigenschaftswert in ein und dasselbe Klassenintervall fällt, bilden zusammen eine Klasse und ihre Anzahl die Klassenhäufigkeit. Die Summe der Klassenhäufigkeiten muß mit dem Umfang des Kollektivs übereinstimmen. Für die Wahl des Klassenintervalls ist der Umfang, die Variationsweite, die Maßeinheit und schließlich auch noch der Zweck der Untersuchung maßgebend. Treten die einzelnen Eigenschaftswerte sehr häufig auf, so kann man auf eine Klasseneinteilung verzichten und die Einteilung nach der kleinsten Maßeinheit, in der die Eigenschaft der Abszisse gemessen wurde, als Einheit beibehalten. Wenn z. B. sich die Festigkeit von Stählen mit 0,4 % C von 50 bis 75 kg/mm² erstreckt und man hier sehr viele Beobachtungswerte zur Verfügung hat, so kann man für jedes einzelne kg/mm² die Häufigkeit auftragen.

Im andern Fall zeichnet man als Punkte der Kurve nur die Häufigkeitswerte der Klassen 1 bis 10, 11 bis 20, 21 bis 30 usw., und zwar jeweils über der Klassenmitte, ein.

Einen Anhalt für die zweckmäßige Teilung gibt die Forderung, daß bei den Häufigkeitstabellen wenigstens nach der Mitte zu alle Klassen besetzt sind, d. h., daß der Wert Null und ein ihm nahekommender nicht vorkommt, während nach dem Ende zu leere Klassen vorkommen dürfen. Es empfiehlt sich im allgemeinen eine Einteilung in 10 Klassen; über 20 wird das Bild zu unübersichtlich. Zweckmäßig wählt man stets zunächst die kleinste Einteilung und vergrößert die Intervalle so lange, bis die Tabellen oder Kurven einigermaßen regelmäßig werden.

Ist man sich über das Klassengerippe nach Weite und Lage klar geworden, so kommt es zur Einreihung der Glieder der Kollektivreihe in dasselbe und zur Bestimmung der Klassenhäufigkeiten. Zählung.

Liegt eine primäre Verteilungstafel vor, so vollzieht sich die Klasseneinteilung einfach durch Einzeichnung von Grenzstrichen, und die Anzahl der zwischen den Grenzstrichen liegenden Glieder liefert die Klassenhäufigkeit.

Will man sich aber die Umformung der Urliste in die primäre Verteilungstafel sparen, so gibt man durch Zählstriche im Klassengerippe an, wie oft die einzelnen Zahlen vorkommen. Für sehr umfangreiche Arbeiten empfiehlt sich die Anwendung von Hollerith-Maschinen¹⁾ und Zählkarten, die zu diesem Zweck leicht umgearbeitet werden können und die Bestimmung der Häufigkeit automatisch vornehmen.

Die Klassen selbst werden auf der Abszisse entweder durch Angabe der Klassengrenzen oder der Klassenmitte gekennzeichnet. In dem angezogenen Beispiel der 100 Werte würde man die Klassen also entweder bezeichnen Klassenbezeichnung.

¹⁾ Vgl. Kiesewetter: „Planwirtschaft im Betriebe“, Feinmechanik 1 (1922), S. 83/90, und H. Krüger: „Bearbeitung der Betriebsorganisation mit Hollerith-Maschinen“, Der Betrieb 4 (1922), Maschinenbau 1 (1922), S. 408/11.

mit 1 bis 10, 11 bis 20, 21 bis 30 usw., oder aber mit 5, 15, 25 usw.

Hat sich gezeigt, daß die gewählte Klasseneinteilung im Verhältnis zu den vorliegenden Zahlenmengen noch zu klein ist, daß also die Kurve zu unregelmäßig wird, so kann man eine Reduktion vornehmen, indem man in den erwähnten Zahlenbeispielen nunmehr Klassen von 1 bis 20, 21 bis 40 usw. bildet.

Reduktionsanlagen.

Kommt es sehr genau auf die Lage des Höchstwertes an, so empfiehlt sich eine mehrmalige Verschiebung der Reduktionslagen. Nehmen wir an, man hätte eine Häufigkeitstabelle über Längenabmessungen derart aufgestellt, daß man jeweils einen Häufigkeitwert für die Klassen 0 bis 10, 11 bis 20, 21 bis 30 usw. in die Kurve einzeichnete, so empfiehlt sich zur Kontrolle die Aufstellung einer Häufigkeitskurve, bei der die Reduktionslagen derart verschoben sind, daß man je einen Häufigkeitwert für die Gruppen 6 bis 15, 16 bis 25, 26 bis 35 usw. aufstellt.

Endwerte.

Bei den Endwerten (Extremwerte) ist noch zu beachten, daß man hier nicht etwa eine Häufigkeitszahl für beispielsweise „0,1 % P und darüber“ angeben darf. Will man die Tabelle und die später daraus gebildete Kurve nicht zu weit auf Extremwerte erstrecken lassen, so muß man diese einfach fortlassen. Grundsatz ist, daß jede Klasse gleich groß sein muß.

Graphische Darstellung.

Die graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilung geschieht durch die bereits erwähnten Häufigkeitskurven, in denen die einzelnen Häufigkeitswerte durch einen möglichst glatten Linienzug verbunden werden. Man muß sich aber darüber klar sein, daß der Inhalt der Fläche nur dann etwas über die zu seiner Aufstellung benutzte Zahlenmenge aussagt, wenn man die Klassenweiten berücksichtigt. Man zeichnet sonst zweckmäßig zu jedem Häufigkeitspunkt die Ordinate durch (vgl. Abb. 19 auf Seite 17).

In einer andern Darstellungsart, die mathematisch etwas einwandfreier, aber nicht so übersichtlich ist, errichtet man über den Klassenintervallen Rechtecke, deren Höhe die Häufigkeit angibt (vgl. z. B. Abb. 7 auf Seite 11).

Trägt man Zahlenwerte über irgendeine Eigenschaft in eine Häufigkeitskurve ein, so wird sich meist ein Bild nach Art der Abb. 1 ergeben. Ein derartiges Bild ist gewissermaßen kennzeichnend dafür, daß die Zahlen in natürlicher Weise durch zufällige Schwankungen um einen beabsichtigten Mittelwert entstanden sind. Würde man dagegen Zahlen zur Verfügung haben, die nicht im Betrieb entstanden sind, sondern einfach, wie sie dem betreffenden Meßbeamten einfielen, in der annähernd zu erwartenden Größenordnung aus dem Kopf aufgeschrieben wurden, so ergibt sich in der Regel keine normale Häufigkeitskurve, sondern eine unregelmäßig schwankende Wellenlinie. Es ist ersichtlich, daß dieses Kennzeichen unter Umständen von Bedeutung sein kann.

Die Genauigkeit der Ergebnisse ist nicht der Zahl der Beobachtungswerte, sondern deren Quadratwurzel proportional. Ueber gewisse Grenzen hat also auch eine bedeutende weitere Vermehrung der Daten praktisch keinen Einfluß mehr auf die Zuverlässigkeit der Ergebnisse, im Gegenteil werden durch allzu großen Umfang oft die klaren Gruppen und bedeutsame Unregelmäßigkeiten der Häufigkeitskurven verwischt.

Um einen Ueberblick zu bekommen, ob die Zahl der Daten genügt, wähle man willkürlich die Hälfte der Zahlen und zeichne aus ihnen nochmals eine Häufigkeitskurve. Diese muß dann einen ähnlichen Verlauf zeigen, wenn genügend Zahlen vorlagen. Ebenso muß der Durchschnitt des größeren Ganzen mit dem der willkürlichen Teilgruppen mit nur geringen Abweichungen übereinstimmen.

Liegt zu wenig Zahlenstoff vor, will man aber doch eine einigermaßen sichere Häufigkeitskurve gewinnen, so verfährt man, wie in

Genauigkeit und Zahl der Beobachtungen

Näherungsverfahren.

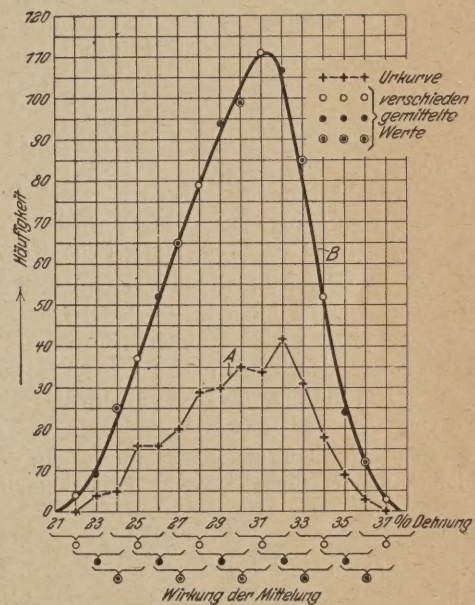


Abbildung 3.

Darstellung der Verteilung der Dehnungsprozente von Kesselblechen mit 0,1 % C in Urkurve A und gemittelter Häufigkeitskurve B.

Abb. 3 dargestellt. Hier sind in Kurve A die Häufigkeitswerte für die Dehnungsprozente von Kesselblechen derart aufgetragen, daß für jedes einzelne Prozent Dehnung der Häufigkeitwert in die Häufigkeitskurve eingetragen wird. Wie man sieht, entsteht eine insbesondere auf der linken Seite etwas unregelmäßige Kurve. Um diese glatter zu gestalten, addiert man zunächst von den ersten drei Zahlen, also in diesem Falle 21, 22 und 23, die Häufigkeitswerte und trägt die Summe als Mittel über 22 ein. Dann addiert man die Häufigkeitswerte von 22, 23 und 24 % Dehnung und trägt den Summenwert über 23 % Dehnung ein, und so fährt man fort, indem man jeweils drei Werte zusammenaddiert. Die drei Werte sollen aber so liegen, daß sie sich dauernd gegenseitig überdecken.

Konstruktion Neuerdings gibt A. P. Trotter¹⁾ ein be-
der Häufig- quemes Verfahren zur Konstruktion von
keitskurven. Wahrscheinlichkeitskurven an, mittels
dessen man nachprüfen kann, wie weit sich
die beobachtete Kurve an die Gaußsche anschließt.

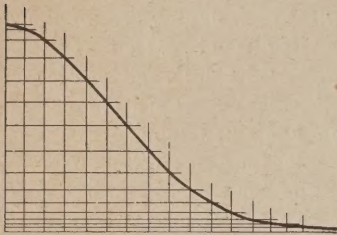


Abbildung 4a. Wahrscheinlichkeitskurve mit Ordinaten, die durch die Schnittpunkte der gleichabständigen Abszissen mit der Kurve laufen.

Wie Abb. 4b zeigt, fertigt man nun zwei dünne Gelenkvierecke an, von denen das eine mit 16 in gleichem Abstand befindlichen Fäden bespannt ist, während im zweiten die Fäden den gleichen Abstand wie die Wagerechten der Abb. 4a innehalten. Durch entsprechende Verschiebung der beiden Rahmen läßt sich die zu einer gegebenen Punktreihe

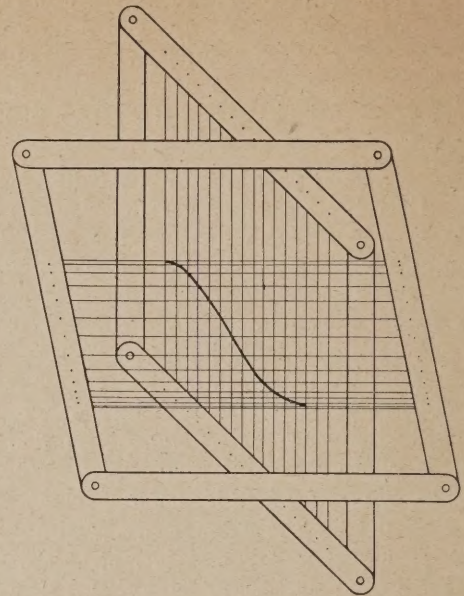


Abbildung 4b. Vorrichtung zur Konstruktion Gaußscher Kurven.

Symmetrie und Asymmetrie. Je nach der gegebenen Eigenschaft bzw. der Einteilung der Abszisse wird sich eine symmetrische oder asymmetrische Kurve ergeben. Das wird verständlich, wenn man Abb. 5 betrachtet. Hier ist durch Auftragung der Messungen einer Eigenschaft x eine symmetrische Häufigkeitskurve a entstanden. Hätte man aber anstatt x eine Eigenschaft gemessen, die $1 : x$ entspricht, so würde die asymmetrische Kurve b entstanden sein. Es ist also nicht gleichgültig, ob z. B. der elektrische Widerstand oder die elektrische Leitfähigkeit, die

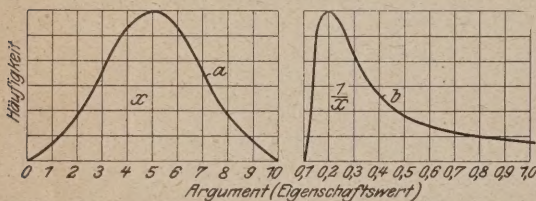


Abbildung 5. Veränderung der Häufigkeitskurve bei Wahl von $\frac{1}{x}$ statt x als Argument.

ebenfalls im Verhältnis x und $1 : x$ zueinander stehen, gemessen hat; höchstens könnte man dann, wenn sich eine asymmetrische Kurve ergibt, versuchen, dieselbe auf eine solche Eigenschaft umzurechnen, daß sie symmetrisch wird und diese Eigenschaft vielleicht als die maßgebliche betrachten.

Symmetrische oder asymmetrische Kurven entstehen aber erfahrungsgemäß nur dann, wenn tatsächlich ein Hauptumstand für die Hervorbringung der kennzeichnenden Eigenschaft maßgebend war, während alle andern Einflüsse als Nebeneinflüsse ein Pendeln um diesen Wert bewirken. Sind hin-

gegen zwei Hauptumstände neben vielen Nebenumständen für das Zustandekommen der kennzeichnenden Werte maßgebend gewesen, so wird

sich eine Kurve nach Art der Abb. 6 ergeben, die man sich wieder als aus zwei normalen Häufigkeitskurven entstanden denken kann.

Liegen z. B. die Kohlenstoffanalysen für Bleche von zwei verschiedenen Stahlwerken durcheinandergewürfelt vor, so wird man eine Kurve mit zwei Höchstwerten bekommen, weil eben die Werte jedes Stahlwerkes um ihren eigenen kennzeichnenden Wert, der meist nicht der gleiche sein wird wie der eines anderen Stahlwerkes, pendeln. Diese Tatsache ist von Bedeutung, da man beim Vorliegen des Ma-

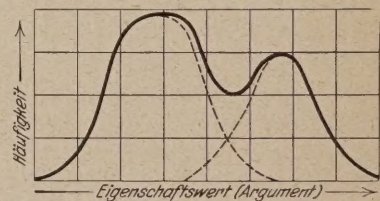


Abbildung 6. Entstehung einer anomalen Häufigkeitskurve mit zwei Höchstwerten aus zwei normalen Kurven.

terials meist keine Kenntnis darüber hat, inwieweit dasselbe homogen ist oder nicht. Die Aufgabe, aus Messungen an einem Haufen von Schrauben, deren Durchmesser mit der üblichen Toleranz um 10 mm schwanken, festzustellen, ob dieselben von einer oder zwei Maschinen hergestellt sind, dürfte auf einem anderen Wege kaum lösbar sein. Es läßt sich also mit Hilfe der Großzahlforschung feststellen, ob ein bestimmtes Material homogen ist oder nicht, wenn nur Messungen über eine beliebige Eigenschaft vorliegen.

Die Inhomogenität kann auch dadurch verursacht sein, daß die gemessenen Eigenschaftszahlen

¹⁾ J. Scientific Instruments 1 (1923) Nr. 2, S. 60/1.

nicht eine, sondern mehrere Eigenschaften in sich einschließen. Bei der Untersuchung der Ergebnisse von Kerbschlagproben an Kesselblechen z. B. gab die Großzahlforschung einen wertvollen Hinweis darauf, daß die erhaltenen Kerbschlagwerte nicht oder wenigstens nicht bei stärkeren Blechdicken von einer Eigenschaft, sondern von zweien abhängig waren. In Abb. 7 ist ein Teil der Ergebnisse eines Werkes in geometrischen relativen Häufigkeitskurven wiedergegeben, wobei eine Unterteilung der Werte für die verschiedenen Blechdicken stattgefunden hat. Wie man erkennt, fällt zunächst mit steigender Blechdicke das Hauptmaximum zu niedrigeren Kerbschlagwerten, weiter aber — und das ist für den vorliegenden Fall das Wichtige — entsteht mit zunehmender Blechdicke ein ebenfalls stark zunehmendes zweites Maximum in der Gegend von 4 bis 6 mkg/cm². Wie die neueren Unter-

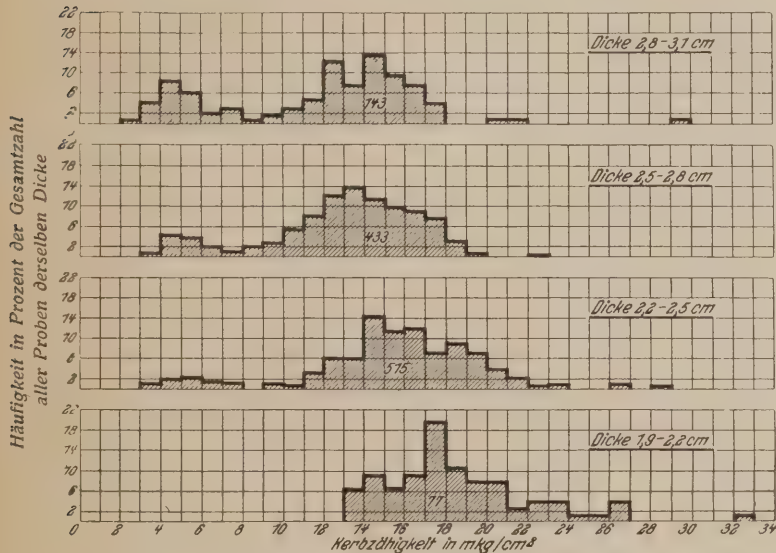


Abbildung 7. Relative Häufigkeitsverteilung von Kerbzähigkeitswerten an Blechen eines Werkes für 4 Klassen verschiedener Blechdicke.

suchungen Mosers¹⁾ gezeigt haben, macht sich in der Tat insbesondere bei stärkeren Blechdicken die gleichzeitige Abhängigkeit der Kerbschlagwerte von der Arbeitsschnelligkeit und dem Arbeitsvermögen des Materials bemerkbar.

Relative Häufigkeitskurven. Häufigkeitskurven sind streng genommen nur dann vergleichbar, wenn sie sich über die gleiche Anzahl von Werten erstrecken. Um daher einen Vergleich zwischen Häufigkeitskurven, die aus verschiedenen großen Zahlenmengen gewonnen wurden, zu ermöglichen, bedient man sich, wie in Abb. 7, der sogenannten relativen Häufigkeitskurven. Sie unterscheiden sich von den bisher erwähnten dadurch, daß in der Ordinate nicht die absolute Häufigkeitszahl angegeben wird, sondern die relativen Häufigkeiten, die dadurch entstehen, wenn man die absoluten Häufigkeitszahlen durch die Gesamtzahl der Werte dividiert und, um Prozentzahlen zu bekommen, mit 100 multipliziert.

Oft kann auch die Art der Klassenbildung an der scheinbaren Asymmetrie der Verteilung schuld sein. Als Beispiel hierfür sind in Zahlentafel 1 nach Czuber¹⁾ die Längen belgischer

Klassenbildung und Asymmetrie.

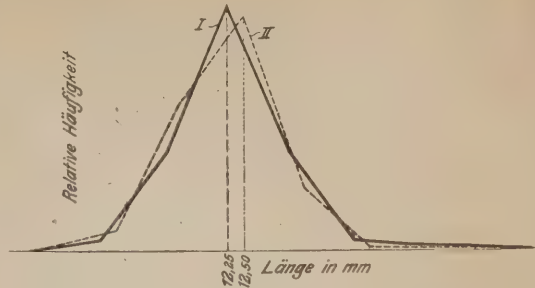


Abbildung 8. Wirkung verschobener Reduktionslagen auf die Lage des Maximums.

schwarzer Bohnen bei zwei verschiedenen Klasseneinteilungen angegeben. Abb. 8 zeigt die Wirkung der verschobenen Reduktionslagen auf die Häufigkeitskurven.

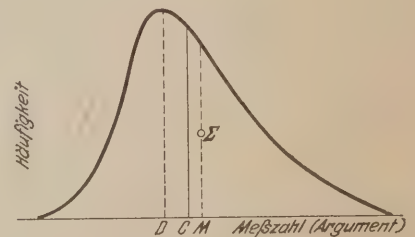


Abbildung 8a.

Lagenbezeichnung von M, C, D und Σ.

M = arithmetischer Mittelwert;

C = Zentralwert;

D = dichtester Wert;

Σ = Schwerpunkt der Kurvenfläche.

Aus einer größeren Anzahl von Zahlen und den Häufigkeitskurven können wichtige Kennwerte für das Material gewonnen werden; hierzu gehören zunächst die verschiedenen Mittelwerte, die

Zahlentafel 1. Längen belgischer schwarzer Bohnen bei zwei verschiedenen Klasseneinteilungen (nach Czuber).

Klasseneinteilung I		Klasseneinteilung II	
Länge in mm	Anzahl	Länge in mm	Anzahl
8,75—9,75	2	9—10	7
9,75—10,75	43	10—11	67
10,75—11,75	314	11—12	466
11,75—12,75	809	12—13	760
12,75—13,75	316	13—14	201
13,75—14,75	30	14—15	15
14,75—15,75	6	15—16	5
15,75—16,75	2	16—17	1
Summe	1522		1522

¹⁾ Emanuel Czuber: „Die statistischen Forschungsmethoden“, Wien 1921.

im folgenden nach dem für die Grundlagen der Großzahlforschung wichtigen Werk von Czuber: „Die statistischen Forschungsmethoden“, angeführt seien.

a) Bekannt ist der sogenannte arithmetische Mittelwert (M), der durch Addition sämtlicher Zahlen und Division durch die Gesamtanzahl der Werte entsteht. Er bedeutet graphisch die Ordinate des Schwerpunktes der Häufigkeitsfläche (Σ) und wird, da er leicht zu errechnen ist, vielfach zur Kennzeichnung angewendet.

b) Ein zweiter Mittelwert ist der sogenannte Zentral- oder Medianwert (C). Er teilt die nach der Größe geordneten Beobachtungsdaten in zwei gleiche Teile und bezeichnet im Diagramm den Fußpunkt der Ordinate, die die Fläche halbiert. Bei symmetrischer Ausbildung der Häufigkeitskurve fällt er mit dem arithmetischen Mittelwert zusammen.

c) Ein dritter Mittelwert ist der sogenannte dichteste oder Modalwert (D) (englisch: mode). Er ist durch Rechnung nur schwer zu bestimmen und bezeichnet im Diagramm den Höchstwert der Kurve. Bei homogenem Material darf er nur einmal vorkommen. Ihm kommt für die Großzahlforschung eine besondere Bedeutung bei.

Bei normaler Verteilung der untersuchten Beobachtungsdaten muß der Zentralwert b den Abstand zwischen dem arithmetischen Mittel a und dem dichtesten Wert etwa im Verhältnis 1 : 2 teilen, so daß $M C = \frac{1}{2} M D$ (Abb. 8 a).

d) Das geometrische Mittel entsteht, indem man die vorhandenen Einzelwerte multipliziert und aus dem Produkt die sovielte Wurzel zieht, als Einzelwerte vorhanden sind.

$$(G = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n})$$

Es wird praktisch wenig verwandt, da es zu abstrakt und auch zu umständlich zu errechnen ist.

e) Bekannt ist noch das harmonische Mittel, das jedoch auch nur wenig angewandt wird. Hier werden nicht die Argumentwerte x, sondern die Werte $1 : x$ nach der Häufigkeit angeordnet. Wie oben erwähnt, kann sich diese Anordnung dann empfehlen, wenn eine asymmetrische Kurve vorliegt, um gegebenenfalls eine symmetrische zu bekommen.

Streuungs- maße. Außer den Mittelwerten ist die Art der Verteilung um diesen Mittelwert (Dispersionsgrad, Streuungsmaß) in vielen Fällen von Bedeutung.

a) Als einfachstes Streuungsmaß gilt die Differenz zwischen dem kleinsten und größten Wert, die sogenannte Variationsweite oder -breite. Sie ist aber sehr unsicher, da sie durch weit herausfallende Extremwerte stark gestört wird.

b) Besser erscheint die gewöhnlich mit dem Buchstaben μ bezeichnete mittlere Abweichung, die sich als Quadratwurzel aus dem Durchschnitt der Quadrate der Abweichungen vom arithmetischen Mittel darstellt.

$$\mu = \sqrt{\frac{2}{n-1} \Sigma \delta^2}$$

Man bezeichnet ihn auch als die mittlere quadratische Abweichung.

c) Die durchschnittliche Abweichung, die gleich dem arithmetischen Mittel der Abweichungen vom Mittelwert C oder M ist.

d) Die Quartile oder Perzentile Q, wobei Q₁ derjenige Abszissenwert, unter welchen $\frac{1}{4}$ und über welchen $\frac{3}{4}$ aller Werte fallen, Q₂ der Zentralwert C, Q₃ derjenige Abszissenwert, unter welchen $\frac{3}{4}$ und über welchen $\frac{1}{4}$ aller Werte fallen. Wenn Symmetrie herrscht, so ist $C - Q_1 = Q_3 - C$. Statt dessen kann man auch als Quartil schlechtweg $Q = \frac{Q_3 - Q_1}{2}$

bezeichnen. a), b) und c) sind absolute Streuungsmaße, die sich nicht immer beim Vergleich verschieden großer Kurven verwenden lassen. Besser ist hier der sogenannte Variabilitätskoeffizient, der das prozentuale Verhältnis der mittleren quadratischen Abweichung zum arithmetischen Mittel zum Ausdruck bringt, $V = \frac{100 \cdot \mu}{M}$

Die Streuungsmaße haben besondere Bedeutung für die Fälle, wo das Maß des Einflusses einzelner Umstände auf die Gesamtreihe festzustellen ist. Es wird dann der Streuungsgrad derjenigen Zahlenreihe ermittelt, die den verursachenden Umstand darstellt, und andererseits derjenigen, die als Funktion aufzufassen ist. Wenn die Ursachenreihe stärkere Schwankungen aufweist als die Folgereihe, so schließt man, daß die Wirkung der Ursache unbedeutend ist. Im entgegengesetzten Falle schließt man auf einen starken Einfluß¹⁾.

Als Maß der Asymmetrie wird nach Pearson die Schiefe der Verteilung verwendet. Es ist das der Quotient aus dem Unterschied zwischen dem arithmetischen Mittel (M) und dem dichtesten Wert (D) durch die mittlere Abweichung (μ).

$$S = \frac{M - D}{\mu}$$

Alle diese Mittelwerte und Streuungs- (Dispersions-) Maße sind zahlenmäßige Begriffe für Eindrücke, die man bei einiger Übung aus dem Bild der Häufigkeitskurve selbst erhält. Es ist ohne weiteres einzusehen, daß bei einer streng symmetrischen Häufigkeitskurve die Mittelwerte alle zusammenfallen, so daß man in Fällen, wo man regelmäßige Häufigkeitskurven erwarten kann, auch von der Aufstellung dieser absehen und statt dessen das einfache arithmetische Mittel zur Kennzeichnung der Zahlenreihe verwenden kann. Ist aber die Kurve unregelmäßig, und das ist in der Praxis meist der Fall, so gewinnt man durch das arithmetische Mittel ein vollkommen falsches Bild. Steinhoff und Mell²⁾ haben seinerzeit verschiedene Methoden von Porositätsbestimmungen feuerfester Steine nachgeprüft, indem sie die nach den einzelnen Methoden erschienenen Werte miteinander verglichen. Ordnet man die Werte in Häufigkeitskurven an, so gelangt

Bedeutung der Mittel- und Streuungswerte.

¹⁾ Vgl. A. Kaufmann a. a. O.

²⁾ Vgl. Werkstoffausschuß-Bericht Nr. 44. — Zu beziehen vom Verlag Stahleisen m. b. H., Düsseldorf.

man zu dem in Abb. 9 wiedergegebenen Bild, aus dem man ersieht, daß dem Ausmeßverfahren die geringste Streuung in den Abweichungen gegenüber dem zugrunde gelegten Quecksilberverdrängungsverfahren zukommt. Würde man aber statt dessen einfach die arithmetischen Mittel gewählt haben, so würde scheinbar das Wasserverfahren besser mit dem Quecksilberverfahren übereinstimmen, weil die Abweichungen gleichmäßiger zur Nulllinie des Quecksilberverfahrens liegen. Infolge seiner außerordentlichen Streuung ist es aber gerade ungeeignet.

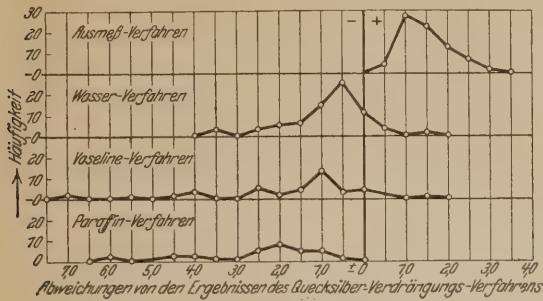


Abbildung 9.

Häufigkeitskurven über die Abweichungen der Ergebnisse von Porositätsbestimmungen von denen des Quecksilber-Verdrängungs-Verfahrens (nach Steinhoff und Mell).

Hingegen eignet sich das Ausmeßverfahren durchaus als Ersatz, da hier die Werte dicht zusammenliegen. Die Tatsache, daß der Höchstwert um einige Einheiten höher liegt, kann durch entsprechende Korrekturen leicht berücksichtigt werden.

Je steiler die Häufigkeitskurve eines technischen Verfahrens, der Eigenschaft eines Erzeugnisses zum Höchstwert ansteigt, je geringer die Streuung ist, um so wertvoller sind sie. Man könnte etwa von gedämpften (steilen) und ungedämpften (flachen) Häufigkeitsschwingungen sprechen, in Analogie zu den Resonanzkurven der Schwingungslehre, bei denen die Dämpfung der Ausschaltung unbeabsichtigter Nebenerscheinungen und dem Hervorbringen des gewünschten reinen Tones entspricht.

**Lieferungs-
vorschriften
und Normen.**

Ein besonderes Anwendungsgebiet der Großzahlforschung findet sich bei der Aufstellung von Lieferungsvorschriften und -Normen¹⁾. Erstgenannte entstehen bisher in der Regel aus zeitraubenden Kämpfen zwischen Abnehmer und Lieferer. Je nach Taktik und wirtschaftlicher Stärke der Parteien bilden sich als Ergebnis der Beratungen Vorschriften, die sehr oft abgeändert werden müssen, weil sie entweder nicht durchführbar oder so weit gefaßt sind, daß sie überhaupt keine Bedeutung haben. Man muß aber von vielen Normen verlangen, daß sie „natürlich“ sind. Sie dürfen weder von wirtschaftlichen Kämpfen noch von einem der Einheitlichkeit halber eingeführten Prinzip, sondern nur von der Natur des Herstellungsverfahrens abhängig sein. Die Verwendung der Großzahlforschung für diesen Zweck erfolgt derart, daß man aus den Abnahmebüchern die Festigkeitsverteilung einer

bestimmten Stahlsorte durch die Häufigkeitskurve festlegt (Abb. 10) oder gegebenenfalls die Kurven der einzelnen Werke, die für die Lieferung in Frage kommen, zu einer Gesamtkurve von ähnlichem Aussehen vereinigt. Es wäre dann verhältnismäßig leicht, sich über eine Strecke $a c$ zu einigen, die in b die Plus- und in a die Minustoleranzen vom natürlichen Mittelwert b angibt. Durch Abschätzung der Flächeninhalte der wegfallenden gestrichelten Flächen $d e a$ und $c f g$ der Kurve kann man feststellen, welcher Ausfall nach Einführung der auf

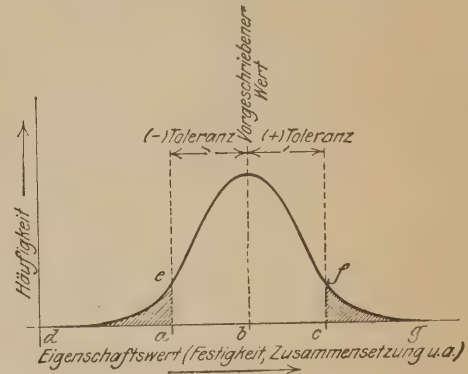


Abbildung 10. Häufigkeitskurve für Aufstellung von Abnahmevorschriften.

den Toleranzengrenzen $a c$ beruhenden Liefervorschrift zunächst eintreten wird, um wieviel höher sich folglich die Herstellungskosten stellen. Aus dem Bestreben der Abnehmer, die Toleranz möglichst eng zu wählen, und der dadurch aber bedingten Erhöhung der Herstellungskosten wird sich in natürlicher und reibungsloser Weise eine Einigung erzielen lassen.

Die Normung geschieht auf ähnlichen Grundlagen. Auch jede Normung muß zunächst in einem Ordnen des bereits Vorhandenen bestehen. Selbst-

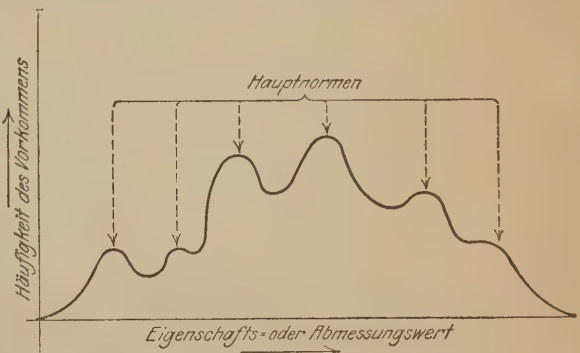


Abbildung 11. Zusammengesetzte Häufigkeitskurve für Normungszwecke.

verständlich kann hierbei gleichzeitig das, was sich als unzweckmäßig erwiesen hat, in Fortfall gebracht werden. Für die natürliche Normung lagert man die Kurven der einzelnen Werke übereinander, so daß etwa eine Häufigkeitskurve nach Abb. 11 entsteht. Die ausgeprägten Maxima dieser Kurven werden als Hauptnormen verwertet, wobei es zunächst gleichgültig sein muß, ob sie irgendeinen mathematisch gesetzmäßigen Abstand voneinander haben. Je stärker das Maximum ausgeprägt ist, um so größere

¹⁾ Vgl. K. Daeves: „Lieferungsvorschriften, Normen und Großzahlforschung“, St. u. E. 43 (1923), S. 1555/6.

Absatzmöglichkeiten für das betreffende Normungsglied sind vorhanden, um so wirtschaftlicher kann es hergestellt werden. Man kann sicher annehmen, daß sich die Maxima im Laufe der Zeit auf Grund langer Erfahrungen herausgebildet und eingeführt haben, und daß es sich meist später rächen wird, wenn man diese natürlichen Normen durch künstliche gewaltsam ersetzt.

Streuungsmaße als Gütemaßstäbe. G. Sachs hat neuerdings¹⁾ darauf hingewiesen, daß die Streuungsmaße über die Eigenschaften von Industrieerzeugnissen selbst eine Art Gütemaßstab darstellen.

Wenn das gleiche Material von zwei Firmen geliefert wird und die Häufigkeitskurve über der kennzeichnenden Eigenschaft des einen Werkes sehr eng verläuft und eine geringe Streuung zeigt, so ist ein solches Material natürlich angenehmer als das von einem andern Werk, das zwar im Durchschnitt und Mittel den gleichen Wert zeigt wie das erste Werk, aber erheblich weiter streut.

Gleichmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit. In Amerika hat man erkannt, daß die höchste Wirtschaftlichkeit aller Betriebe im gleichmäßigen Arbeitsgang liegt. Man hat z. B. im Hochofenbetrieb kostspielige

Brech- und Aufbereitungsanlagen errichtet, um stets mit gleichmäßigen Rohstoffen zu arbeiten und alle Schwankungen in Gaserzeugung, Windmengen, Windtemperaturen und der Roheisenzusammensetzung, die sich infolge der Doppelrolle des Hochofens als Kraft- und Rohstoffherzeuger in verstärktem Maße in allen anhängen und weiterverarbeitenden Betrieben bemerkbar machen, auszuschalten. Die so außerordentlich wichtige Speicherfrage ist trotz eifrigster Bemühungen bis heute nicht gelöst. Sie läßt sich am einfachsten dadurch umgehen, daß man in allen Betrieben die Gleichmäßigkeit des Arbeitens in erster Linie zu erreichen sucht und laufend kontrolliert.

Für die Gleichmäßigkeit der Rohstoffe kommt es aber nicht auf die bisher üblichen arithmetischen Mittelwerte an, sondern auf den Verlauf der Häufigkeitskurve. Je enger und gleichmäßiger diese gehalten wird, um so weniger Schwankungen treten in den weiterverarbeitenden Betrieben auf, um so zielsicherer werden die gewünschten Eigenschaften des Enderzeugnisses erreicht. Ein Mittel zur Ueberwachung der Gleichmäßigkeit bildet die später beschriebene Großzahltafel.

Vergleich der Großzahlwerte. Die Bedeutung der Großzahlforschung liegt weniger in der Beobachtung der Häufigkeitskurven einzelner Eigenschaften, als in einem Vergleich von Häufigkeitskurven, die in einem, möglichst zahlenmäßig bekannten Umstande voneinander abweichen.

Stellte man z. B. die Mittelwerte einer laufend im Betriebe hergestellten Blechsorte für solche Bleche zusammen, die sich gut bewährt hatten, so fand man beispielsweise die Durchschnittsanalyse 0,10 % C, 0,025 % P, 0,38 % Mn, 0,035 % S. Diese

Werte finden sich, wie erwähnt, jeweils bei einem Querschnitt von 10 oder 20 Chargen wieder. Wählte man aber aus den Analysenbüchern solche Chargen heraus, die später bei der Verarbeitung blasige Bleche ergeben hatten, so fand man z. B. 0,10 % C, 0,028 % P, 0,38 % Mn, 0,044 % S. Man kann daraus den Schluß ziehen, daß das Auftreten der Blasen indirekt mit einem höheren Phosphor- und Schwefelgehalt im Zusammenhang steht. Das läßt sich etwa so erklären, daß dann, wenn der in der Pfanne befindliche Stahl viel Schlacke enthält, in den meisten Fällen auch die für die Chargenanalyse bestimmte Löffelprobe solche Schlacken enthält. Es hängt jedoch vom Zufall ab, wieviel Schlacke in den Löffel gelangt. Erst bei einer sehr großen Zahl von Löffelproben wird man also einen richtigen Durchschnittswert bekommen, während es andererseits im Einzelfalle durchaus möglich ist, daß eine Charge mit mehr Schwefel und Phosphor in der Analyse keine Blasen enthält oder eine solche mit sehr wenig Schwefel und Phosphor sehr blasig ist, weil eben in den Einzelfällen Löffelprobe und tatsächliche Zusammensetzung des Stahles nicht übereinzustimmen brauchen.

Analyse blasiger Bleche.

Fritz Schmitz hat in etwas anderer Weise die arithmetischen Mittelwerte aus einer großen Zahl von Analysen- und Festigkeitswerten zu einem Vergleich der Eigenschaften von basisch und sauer erschmolzenem Stahl benutzt¹⁾. Er entnahm den Chargenbüchern wahllos solche Schmelzungen, deren Gehalte zwischen 0,45 und 0,54 % C, 0,85 und 1,15 % Mn, 0,25 und 0,50 % Si, unter 0,07 % P und unter 0,06 % S lagen. Für jedes hundertstel Prozent Kohlenstoff innerhalb der Grenzen 0,45 und 0,54 % C wählte er je 20 saure und 20 basische Proben. Für die sich so ergebende mittlere Analyse stellte er die Mittel der Festigkeitswerte zusammen und fand, daß sich basische und saure Proben in Streckgrenze, Festigkeit und Dehnung kaum unterschieden, daß aber die basischen Stähle durchweg eine um 4 % Einschnürungsprozente höhere Einschnürung zeigten als die sauren. Das Ergebnis trat um so schärfer hervor, je mehr die Analysendurchschnitte übereinstimmten. Zahlentafel 2 zeigt die Aufstellung für je 18 saure und basische Stähle, deren Analysendurchschnitt weitgehend übereinstimmt. Durch diese Feststellung, daß die basischen Stähle in bezug auf die Einschnürung um etwa 10 % (die Durchschnittseinschnürung der basischen Stähle betrug 40 %) besser waren als die sauren gleicher Zusammensetzung, war auf einfache Weise mit Hilfe der Großzahlforschung der immer wieder von der Praxis behauptete und von vielen Forschern auf Grund ausgedehnter Versuche bestrittene²⁾ Unterschied basischer und saurer Stähle klargelegt.

Vergleich von basischem und saurem Stahl.

¹⁾ St. v. E. 43 (1923), S. 1536/9.

²⁾ Vgl. F. Wüst: Vergleichende Untersuchungen an saurem und basischem Stahl. Mitt. a. d. Kaiser-Wilhelm-Inst. f. Eisenforschung III (1922), 2. Heft, S. 29/55.

¹⁾ Diskussion zum Vortrag Daevies über Großzahlforschung auf der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde vom 19. Januar 1924.

Zahlentafel 2. Mittelwerte von 18 Paaren basischer und saurer Stähle mit gleichen Gehalten an C, Mn, Si und P.

Art der Stähle	Zusammensetzung					Festigkeitseigenschaften			
	O	Mn	Si	P	S	Streckgrenze	Festigkeit	Dehnung	Einschnürung
	%	%	%	%	%	kg/mm ²	kg/mm ²	%	%
basisch	0,485	0,989	0,277	0,051	0,037	39,10	71,33	16,89	41,48
sauer	0,485	0,991	0,285	0,054	0,050	39,00	71,56	16,90	37,35
Differenz	0	-0,002	-0,008	-0,003	-0,013	+0,1	-0,23	-0,01	+4,13

Mehrere Höchstwerte. Treten in der Häufigkeitskurve mehrere Höchstwerte auf, so wird man versuchen, aus den Werten der Gesamtkurve Teilkurven aufzustellen, die die Gesamtzahlen nach bestimmten Gesichtspunkten trennen.

Beispiele: P. Goerens¹⁾ hat eine Reihe von Untersuchungen über die Anwendbarkeit der Großzahlforschung im Betriebe durchgeführt und wertvolle Ergebnisse bekanntgegeben. In Abb. 12 sind die Kohlenstoffgehalte von 500 aufeinanderfolgenden Schmelzen zu einer Häufigkeitskurve aufgetragen. Der Kohlenstoffgehalt sollte in

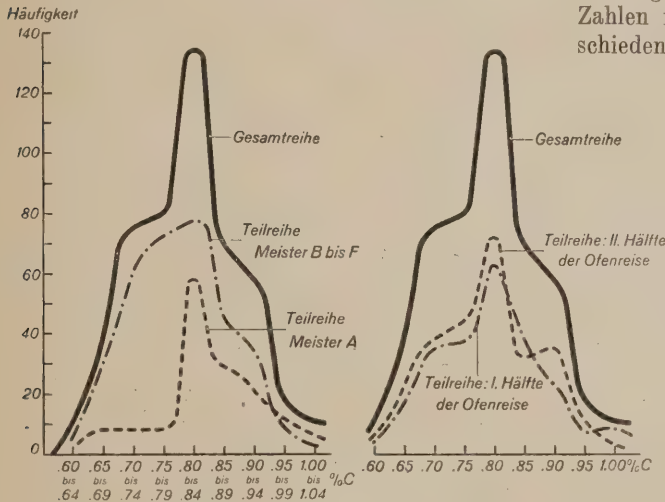


Abbildung 12. Häufigkeitskurven des Kohlenstoffgehaltes nach Goerens. Teilkurven nach Meistern (links) und Ofenreisen (rechts).

diesem Falle in einer bestimmten Phase des Schmelzverfahrens 0,8 % betragen. Die ausgezogene Linie gibt die Gesamtreihe wieder. Sie zeigt nicht den gleichmäßigen Verlauf einer normalen Häufigkeitskurve, sondern außer dem Höchstwert bei 0,8 % C auf beiden abfallenden Aesten noch Unregelmäßigkeiten. Um die Ursache dieser Nebenmaxima, die durch Nebenfaktoren bedingt werden müßten, ausfindig zu machen, wurde der Zahlenstoff nach verschiedenen Gesichtspunkten in Teilreihen gruppiert, und diese wieder als Häufigkeitskurven aufgezeichnet. Im vorliegenden Falle ist einmal eine Unterteilung nach den Meistern und Vorarbeitern, die für die Schmelzung verantwortlich waren, vorgenommen worden. Es ist deutlich zu erkennen, daß Meister A von niedrigen Kohlenstoffgehalten an sehr rasch zu einem scharf ausgeprägten Maximum

¹⁾ P. Goerens: „Wissenschaftliche Forschung in der Eisenindustrie“, St. u. E. 43 (1923), S. 1191/9.

bei 0,8 % C ansteigt. Der rechte Ast zeigt jedoch eine Störung, deren Bedeutung noch nicht erkannt ist. Dagegen ist die Häufigkeitskurve der übrigen Meister von B bis F wesentlich ungünstiger. Das Maximum ist sehr flach, die Streuung groß, ein

Zeichen für die größere Unsicherheit in der Beurteilung in dem Verlauf der Schmelzen.

Eine Unterteilung in zwei Gruppen, die den beiden Hälften der Ofenreise entsprechen, zeigt das merkwürdige Bild, daß die Unregelmäßigkeit auf dem linken Ast besonders ausgeprägt in der ersten Hälfte der Ofenreise in Erscheinung tritt, während bei der zweiten Hälfte der Ofenreise insbesondere die Unregelmäßigkeit auf dem rechten Ast deutlich hervortritt. Hiermit ist ein wertvoller Hinweis für den Einfluß des Ofenzustandes auf die Treffsicherheit des Kohlenstoffgehaltes gegeben. In Abb. 13 sind die gleichen Zahlen nochmals in Teilreihen für die verschiedenen Schichten unterteilt. Es ist deutlich

Einfluß des Ofenzustandes.

Einfluß der Schichten.

zu erkennen, daß die Unsicherheit während der Nachmittagschicht am größten ist. Vermutlich ist dies darauf zurückzuführen, daß die Leute nicht so gut ausgeruht zu der Nachmittagschicht kommen wie zu den beiden anderen Schichten. Die so erhaltenen Ergebnisse sind unabhängig von Verschiedenheiten des Einsatzes, des Ofenganges, der Gasbeschaffenheit usw., vorausgesetzt, daß man eine genügend große Zahl von Beobachtungen zur Verfügung hat.

Lehrreiche Aufschlüsse erhielt Goerens auch, als er die Großzahlforschung zur Beurteilung der Analysenabweichungen im Laboratorium heranzog. Während eines halben Jahres wurden die bei Kohlenstoff- und Phosphor-

Leistungen von Laboranten.

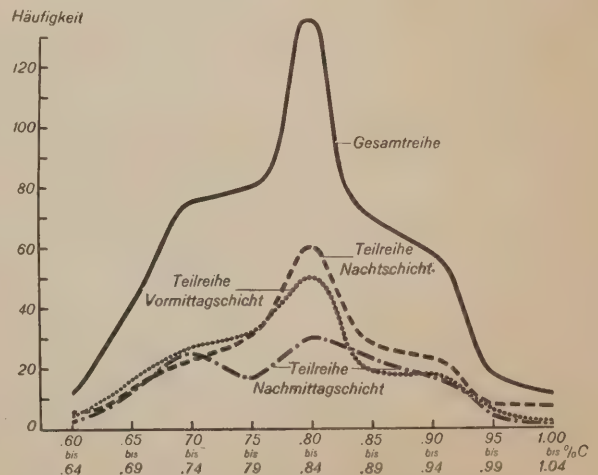


Abbildung 13. Häufigkeitskurven des Kohlenstoffgehaltes nach Goerens. Teilkurven nach Schichten.

bestimmungen auftretenden Abweichungen von Kontrollanalysen bei verschiedenen Laboranten beobachtet. Die Abb. 14 gibt die Gesamtreihe sowie die nach Laboranten geordneten Teilreihen wieder. Die Abweichung beträgt in der Mehrzahl der Fälle

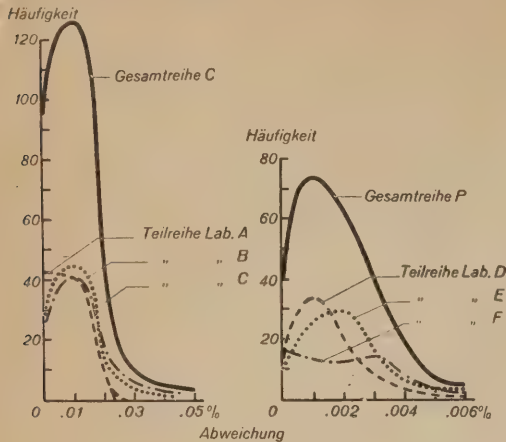


Abbildung 14. Abweichungen bei Analysen nach Goerens.

etwa 0,1 %, bei der Phosphorkurve etwa 0,001 %. Der Laborant D ist den Laboranten E und F an Sicherheit weit überlegen; F zeigt eine ganz anormale Kurve, die vermuten läßt, daß er zwar gut arbeiten kann, aber nicht immer von seinen Fähigkeiten Gebrauch macht. In ähnlicher Weise lassen sich die Leistungen verschiedener Laboratorien mit-

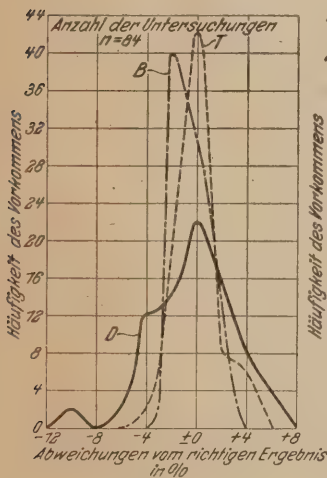


Abbildung 16. Diagramm Auswertung durch Planimeter, Teilkurven nach Hilfsarbeitern.

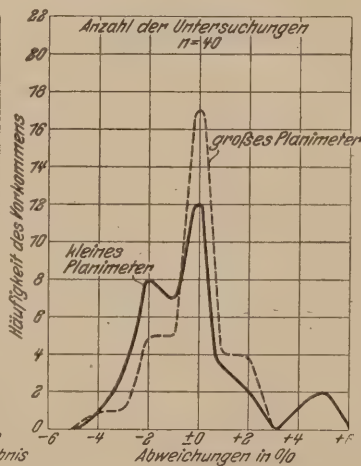


Abbildung 17. Anwendung von 2 verschiedenen Planimetern. Teilkurven nach Instrumenten.

einander vergleichen, ferner erhält man so auf zuverlässiger zahlenmäßiger Grundlage eine Kritik verschiedener analytischer Verfahren u. dgl.

Leistung von In Abb. 15 sind relative Häufigkeitskurven für den Heizwert von Generatorgasen unterteilt nach den 3 Schichten wiedergegeben. Schicht B arbeitet am schlechtesten.

Leistung von Im Betrieb der Wärmeabteilung eines großen Planimetern. Werkes wurden laufend täglich etwa 150 Diagrammstreifen ausplanimetriert. Die Er-

gebnisse wurden nun von einem als besonders zuverlässig erkannten Mann nachplanimetriert und dessen Ergebnis als Norm angenommen. Die Häufigkeitskurven der Abb. 16 zeigen nun, daß der Hilfsarbeiter T sehr gut planimetriert hat, desgleichen auch der Hilfsarbeiter B, der nur die Neigung hat, stets etwas zu wenig zu planimetrieren. Dagegen ist Hilfsarbeiter D außerordentlich unzuverlässig. Er

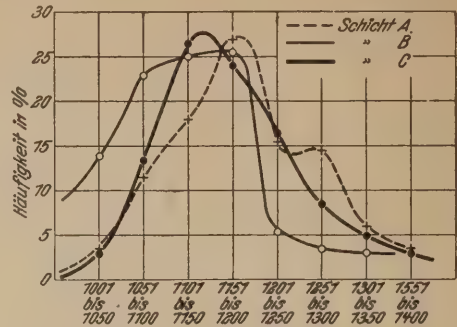


Abbildung 15. Relative Häufigkeitskurven für den Heizwert von Generatorgas. Teilkurven für drei Schichten.

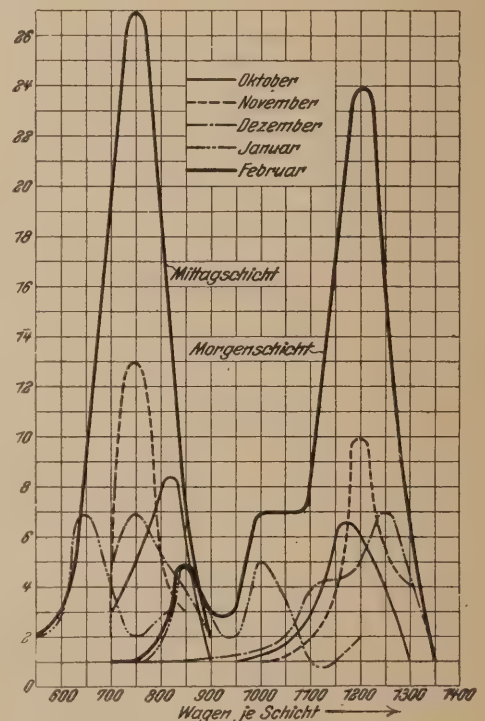


Abbildung 18. Häufigkeitskurven über die Förderung einer Zeche. Teilkurven nach Zeiten.

zeigt die größten Abweichungen und hat tageweise außerordentlich liederlich gearbeitet. Das Beispiel zeigt am besten den Wert derartiger Untersuchungen, die insbesondere eine wertvolle Ergänzung der Psychotechnik bilden.

Auf dem gleichen Werk wurde auch die Genauigkeit der verschiedenen Planimetersysteme nachgeprüft, und Abb. 17 zeigt, daß das große Planimeter genauer arbeitet als das kleine; eine für Neuanschaffung derartiger Instrumente nützliche Erkenntnis.

Förderleistungen. In Abb. 18 sind die Häufigkeitskurven der Förderleistung einer Zeche aufgetragen, einmal als Gesamtkurven für die Zeit von Oktober bis Januar, getrennt nach Morgen- und Mittagschicht, und dann als Teilkurven und den gleichen Bedingungen, jedoch getrennt nach den einzelnen Monaten. Man erkennt zunächst, daß die Morgenschicht bei weitem mehr fördert als die Mittagschicht, erstere mit 1200 Wagen, letztere mit nur 750 Wagen im Höchstwert, was mit den Betriebsverhältnissen unter Tage zusammenhängt. Von beiden Schichten ist aber die größte Förderleistung im Monat November erzielt worden, so daß die Teilkurve dieses Monats sehr stark die Gesamthöchstwerte beeinflußt. Es ist bekannt, daß die Bergleute in diesem Monat am meisten arbeiten, um möglichst viel Geld für Weihnachten zu erhalten.

Kesselüberwachung. Wertvolle Einblicke geben die Häufigkeitskurven der Kohlensäuregehalte in den Abgasen. Man kann die Gesamtkurve hier nach der Zeit trennen, um zu sehen, ob im Laufe der Monate eine Verbesserung oder Verschlechterung eintrat, weiter nach den drei Schichten, nach den vorhandenen Kesselbatterien und endlich nach den drei Bedienungsmannschaften. Man kommt hier zu Werten, die gewissermaßen einen Wirkungsgrad menschlicher Arbeitskraft darstellen.

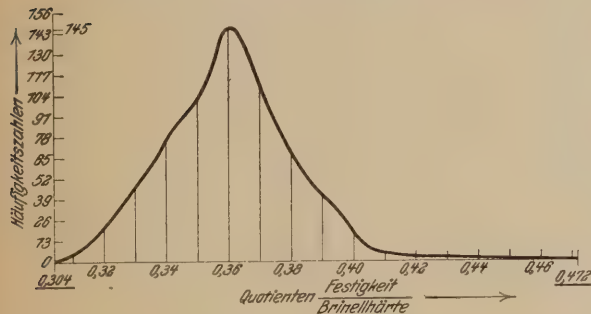


Abbildung 19. Häufigkeiten der Quotienten $\frac{\text{Festigkeit}}{\text{Brinellhärte}}$ in Stufen von 0,01 bei Schienen. (650 Versuche.)

Beziehung zwischen Brinellhärte und Festigkeit. Ueber die Beziehungen zwischen der Brinellhärte und der Zerreißfestigkeit bestanden erhebliche Meinungsverschiedenheiten, und man rechnete mit ganz verschiedenen Koeffizienten. Als die Eisenbahnverwaltung die Prüfung der Schienen durch die Kugeldruckprobe an Stelle der bisherigen Zerreißprobe vornahm, war es wichtig, zu wissen, welche Härteziffern nun an Stelle der bisher in den Abnahmevorschriften angegebenen Zerreißwerte zu treten hatten. Es wurden deshalb an über 600 Schienen gleichzeitige Messungen der Kugeldruckhärte und Festigkeitswerte von verschiedenen Werken vorgenommen und die erhaltenen Werte in eine Häufigkeitskurve aufgetragen, die in Abb. 19 wiedergegeben ist. Sie zeigt trotz großer Streuung einen deutlichen Höchstwert bei 0,36, so daß man diese Zahl als wahrscheinlichen oder normalen Umrechnungsfaktor für die Festigkeit in die Brinellhärte bei Schienen anzunehmen hat.

Bei der Gemeinschaftsarbeit des Vereins deutscher Eisenhüttenleute wurde versucht, solche Teilreihen für die Häufigkeitskurven über die Festigkeitseigenschaften der erzeugten Stähle aufzustellen, und zwar sollte die Gesamthäufigkeitskurve, von deren Aufstellung naturgemäß abgesehen wurde, unterteilt werden nach Häufigkeitskurven für die verschiedenen Kohlenstoff-, Phosphor-, Schwefel-, Mangan- usw. Gehalte. Es mußte sich dann herausstellen, in welcher Weise sich beispielsweise mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt die Maxima und Grenzwerte zu höheren Festigkeitswerten verschoben, und man konnte erwarten, beim Vorliegen genügender Zahlenmengen hierdurch zu Daten über den Einfluß der verschiedenen chemischen Beimengungen auf die Festigkeitseigenschaften zu kommen.

Die Urzahlen lagen auf den Werken in den Abnahmebüchern vor, die Klasseneinteilung mußte nach den zu den einzelnen Chargen gehörigen Analysenbüchern vorgenommen werden. Aus diesen Urzahlen fertigten die Werke selbst primäre Verteilungstabellen in der Weise an, daß sie für jede durch die chemische Zusammensetzung bestimmte Klasse angaben, wie oft darin die verschiedenen Festigkeiten, Dehnungen usw. vorkamen. Man verfuhr dabei so, daß man aus den Analysenbüchern alle Chargennummern, die 0,05 bis 0,14 % C hatten (als Durchschnitt über 0,1 % C), zusammenschrieb und dann aus den Abnahmebüchern für diese Chargen die Festigkeitszahlen herausuchte und ihre Häufigkeit von kg/mm^2 zu kg/mm^2 eintrug. In gleicher Weise stellte man dann die Häufigkeitstabelle für die Analysen von 0,15 bis 0,24 % C (als Mittel über 0,2 % C) auf und ging entsprechend bei den Häufigkeitstabellen für die Mangan-, Phosphor- und Schwefelreihen und für die Dehnungs- und Kontraktionsziffern vor. Bei den Häufigkeitstabellen für Kohlenstoff wurden die Mangan-, Phosphor-, Schwefel- usw. Gehalte vernachlässigt, ebenso entsprechend bei den Kurven für die andern Bestandteile. Außerdem war grundsätzlich eine Einteilung in Siemens-Martin-, Thomas- und Elektro- und legierte Stähle vorgesehen.

Es erwies sich als zweckmäßig, die Zahlentabellen nach Art der Zahlentafel 3 aufzustellen. Die Kolonne 3 erleichtert nur die

Zahlentafel 3. Beispiel für die Aufstellung der primären Verteilungstabellen.

Kolonne 1	2	3
Festigkeit in kg/mm^2	Anzahl	Produkt aus Kolonne 1 \times Kolonne 2
33	0	0
34	8	272
35	41	1 435
36	78	2 808
37	112	4 144
38	89	3 382
39	50	1 950
40	15	600
41	6	248
42	1	42
Summe	400	14 881

Durchschnitt $14\,881 : 400 = 37,20 \text{ kg/mm}^2$.

Zusammenhang zwischen Analyse und Festigkeitswerten.

Anordnung der Urlisten.

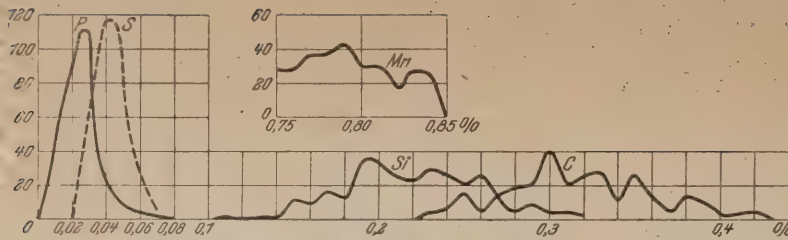


Abbildung 20. Verteilung der verschiedenen Analysenbestandteile für S-M-Achsen mit 0,75 bis 0,84 % Mn. Ergebnisse eines Werkes.

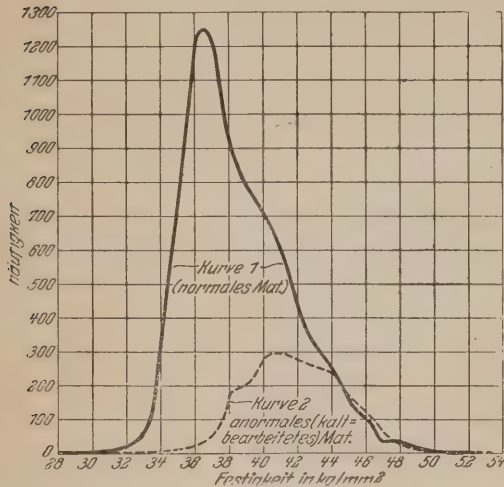


Abbildung 21. Festigkeitsverteilung von S-M Stählen mit 0,1 % C.

Kohlenstoffreihe	0,1 % C	Festigkeit
	S-M-Stahl	
	Kurve 1 (normales Material)	Kurve 2 (anormales [kaltbearbeitetes] Material)
Gesamtzahl der Proben . . .	7964	2227
Höchst-(Normal-)Wert bei . .	36,5 kg/mm²	41 kg/mm²
Untere Streuungsgrenzen . . .	32 "	35 "
Obere " " " " " " " " " "	49 "	49 "

zur Beurteilung der Regelmäßigkeit wünschenswerter Errechnung des arithmetischen Mittels.

Die Häufigkeitstabellen sollten enthalten:

1. die Gesamtzahl der Werte, über die sich die Zahlentafel erstreckt;
2. die Angabe von Materialart, Qualität und Verwendungszweck;
3. die Eigenschaft, nach welcher die Zahlentafel aufgestellt ist und nach der die Abszisse später für die Häufigkeitskurve geteilt werden soll (z. B. Häufigkeitstafel über die Festigkeit);
4. Angabe, über welche Teilreihe und Klasse sich die Tabelle erstreckt (z. B. Kohlenstoffreihe von 0,05 bis 0,15 % C).

Es muß zugegeben werden, daß diese Tabellen und die daraus entstehenden Häufigkeitskurven einige Willkürlichkeiten enthalten. Es wird nämlich stillschweigend vorausgesetzt, daß beispielsweise für die Reihe von 0,26 bis 0,35 % C der mittlere Kohlenstoffgehalt tatsächlich annähernd etwa

0,3 % entspricht. Nun ist es aber sehr wohl möglich, daß von den Abnehmern für bestimmte Zwecke eine Stahlsorte verlangt wird, die etwa 0,35 % C im Mittel enthält. Zwischen 0,25 und 0,35 % C verteilen sich dann die Kohlenstoffgehalte nicht gleichmäßig, sondern es findet eine Häufung nach dem rechten

Ende zu und entsprechend in der Gruppe von 0,36 bis 0,45 % C nach dem linken Ende zu statt, die die durchschnittlichen Festigkeiten dieser Gruppen in gleicher Weise verschiebt. Abb. 20 zeigt zum Beispiel die Verteilung der verschiedenen Analysenbestandteile nach den Aufzeichnungen eines Werkes für die nur mit Rücksicht auf den Mangengehalt von 0,75 bis 0,84 % Mn geordneten Werte. Wenn aber genügend große Zahlen vieler Werke vorliegen, so kann erwartet werden, daß auch dieser Einfluß sich nach beiden Seiten kompensiert und die Ergebnisse ein einigermaßen klares Bild über den Einfluß des Kohlenstoffgehaltes geben.

Die Auswertung der in der Gemeinschaftsarbeit eingeleiteten Ergebnisse geschah derart, daß zunächst von jedem einzelnen Werk die entsprechenden Häufigkeitskurven aufgestellt und aus ihrem mehr oder weniger regelmäßigen Verlauf Rückschlüsse auf die Arbeitsweise des Werkes oder den Wert der eingeleiteten Zahlen gezogen wurden. Diese Schlüsse waren für die einzelnen Werke vielfach von Bedeutung, da sie z. B. zeigten, daß in den Festigkeitslisten durcheinander Werte für geglühtes und ungeglühtes Material angegeben waren, daß durcheinander verschiedene Probestabformen verwendet wurden, die natürlich zur Ausbildung von mehreren Höchstwerten führten. Es würde aber hier zu weit führen und liegt auch nicht im Interesse der Einzelwerke, diese Ergebnisse zu veröffentlichen. Sie wurden den Werken einzeln mitgeteilt. Für das Gesamtergebnis wurden die Häufigkeitswerte, wie sie von

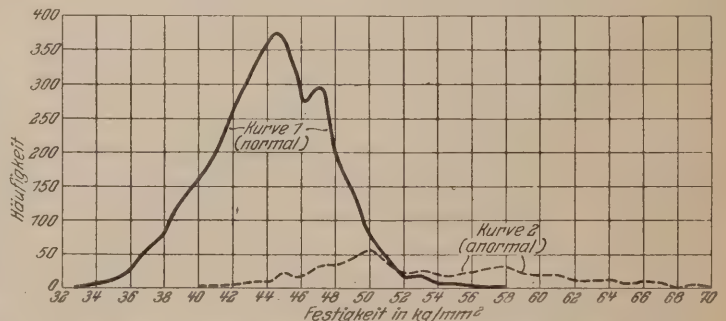


Abbildung 22. Festigkeitsverteilung von S-M-Stählen mit 0,2 % C.

Kohlenstoffreihe	0,2 % C	Festigkeit
	S-M-Stahl	
	Kurve 1 (normales Material)	Kurve 2 (anormales Material)
Gesamtzahl der Proben	3063	563
Höchst-(Normal-)Wert	44,5 kg/mm²	50 kg/mm²
Untere Streuungsgrenzen	34 "	42 "
Obere " " " " " " " " " "	55 "	69 "

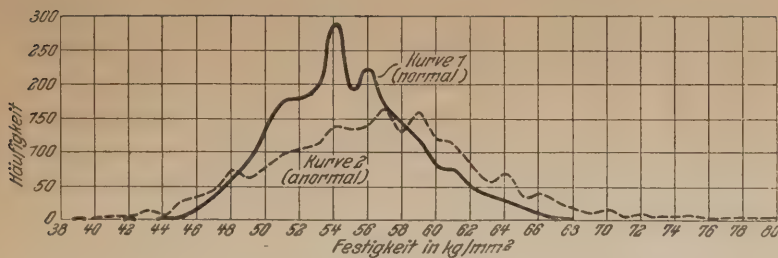


Abbildung 23. Festigkeitsverteilung von S-M-Stählen mit 0,3 % C.

Kohlenstofffreie S-M-Stahl	0,3% C	
	Kurve 1 (normales Material)	Kurve 2 (anormales Material)
Gesamtzahl der Proben	2326	2165
Höchst-(Normal-)Wert bei	54 kg/mm²	57 kg/mm²
Untere Streuungsgrenzen	46 "	41 "
Obere "	67 "	75 "

unter 10 mm. Offenbar ist hier durch den Herstellungsvorgang eine gewisse Kaltbearbeitung eingetreten, die eine Steigerung der Festigkeit und ein Absinken der Dehnung zur Folge hatte. Solche Werte sowie diejenigen, die aus zunächst unbekannten Gründen von den normalen abweichen, wurden aus der Gesamttabelle herausgenommen und für sich zusammengestellt. Die normalen Werte selbst wurden dann addiert und die entsprechenden Häufigkeitskurven gezeichnet, für die Beispiele in den Abb. 21 bis 26 für die Beziehung zwischen

Zahlentafel 4 und 5. Anormaler Einfluß des Mangan- und Phosphorgehalts auf Festigkeit und Dehnung.

% Mn	% Dehnung	Festigkeit kg/mm²
0,7	25	51 (?)
0,8	25,5	52
0,9	26	53,5

% P	% Dehnung	Festigkeit kg/mm²
0,02	24,3	51,5
0,03	24,5	52
0,04	25	52,5
0,05	25,5	—

den einzelnen Werken angegeben waren, zusammengeschrieben, wie aus den Zahlentaf. 6 bis 19 zu ersehen ist. Es zeigte sich hier, daß eine Reihe von Werten stark von den normalerweise beobachteten abweichen; insbesondere gilt dies für nahtlose Rohre und Bleche

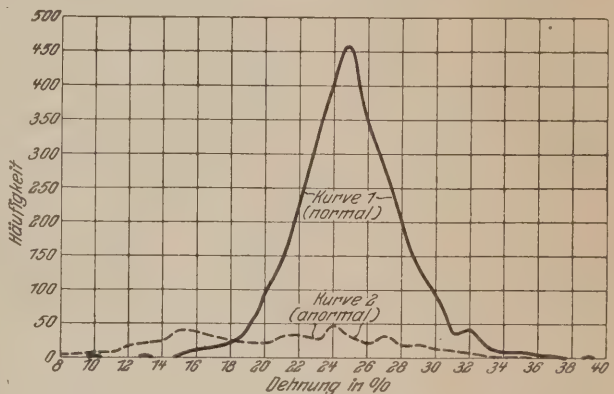


Abbildung 25. Dehnungsverteilung von S M Stählen mit 0,2 % C.

Kohlenstofffreie S-M-Material	0,2 % C	
	Kurve 1 (normales Material)	Kurve 2 (anormales Material)
Gesamtzahl der Proben	2904	562
Höchst-(Normal-)Wert	24,5 %	?
Untere Streuungsgrenzen	16 %	9 %
Obere "	35 %	32 %

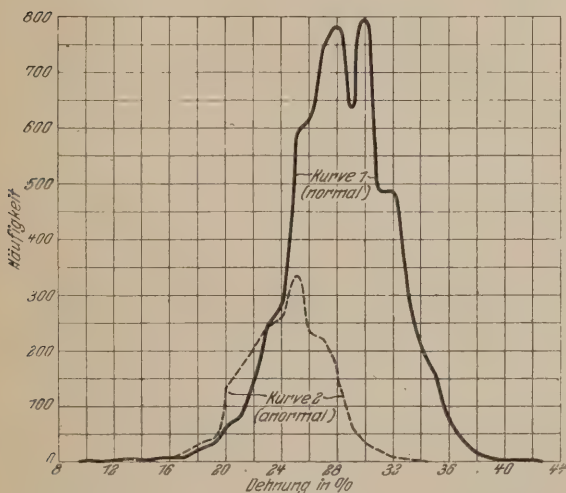


Abbildung 24. Dehnungsverteilung von S-M-Stählen mit 0,1 % C.

Kohlenstofffreie S-M-Material	0,1 % C	
	Kurve 1 (normales Material)	Kurve 2 (anormales Material)
Gesamtzahl der Proben	6867	2197
Höchst-(Normal-)Wert	30 %	25 %
Untere Streuungsgrenzen	15 %	15 %
Obere "	39 %	33 %

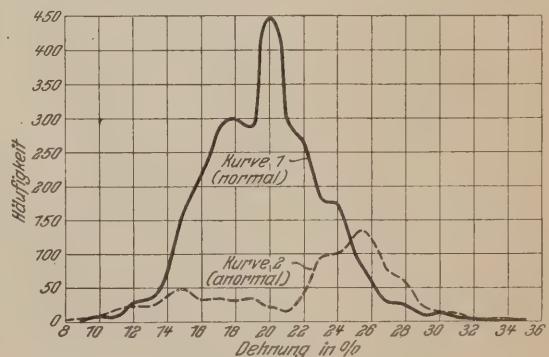


Abbildung 26. Dehnungsverteilung von S-M-Stählen mit 0,3 % C.

Kohlenstofffreie S-M-Material	0,3 % C	
	Kurve 1 (normales Material)	Kurve 2 (anormales Material)
Gesamtzahl der Proben	2999	1009
Höchst-(Normal-)Wert	20 %	25,5 %
Untere Streuungsgrenzen	10 %	9 %
Obere "	31 %	31 %

Zahlentafel 8.

Kohlenstoffreihe 0,3% C

Festigkeit

Siemens-Martin.

Werks-Nr.	Material	Zahl	Durchschnitt	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	kg mm
8	Vorblöcke, Achsen, Reifen . .	320	53,7																																
14	Bandagen	380	53,25																																
18	" 0,8 % Mn	285	54,0																																
13	Schmelzmaterial 0,25 % C .	250	55,59																																
11	" 0,35 % C	250	59,19																																
2	Achsen, siliziert	13	51,69																																
10a	Walzprodukte, nicht siliziert	300	56,11																																
23																																			
16	nahtlose Rohre	296																																	
10		1874																																	

Fortsetzung

Werks-Nr.	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	kg/mm ²	normal	anormal
8	2	1																
14			1															
18																		
11	9	4	1	1														
2																		
10a																		
23	11	5	3															
16	6	7	5	2	5													
10	33	21	13	9	10	3	6	5	5	6	3	2	2	2	2			
	39	28	18	11	15	4	9	5	5	7	3	2	2	2	2			

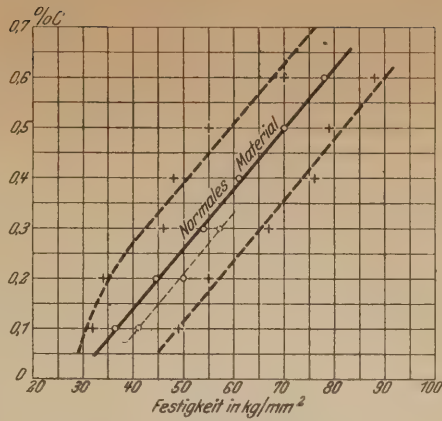


Abbildung 27.
Festigkeit und Kohlenstoffgehalt von S.-M.-Material. Normalwerte sowie obere und untere Streuungsgrenze.

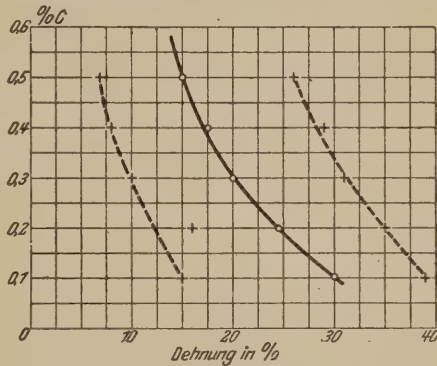


Abbildung 28.
Dehnung und Kohlenstoffgehalt von S.-M.-Material. Normalwerte sowie obere und untere Streuungsgrenze.

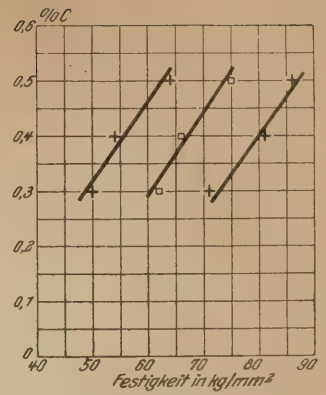


Abbildung 29.
Festigkeit und Kohlenstoffgehalt bei Thomasmaterial.

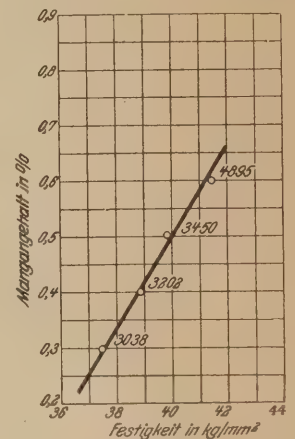


Abbildung 30.
Manganengehalt und Festigkeit.

nähernd gerade Linie, die von zwei Parallelen, die die obere und untere Streuungsgrenze kennzeichnen, begleitet wird. Mit sinkendem Kohlenstoffgehalt nähert sich der untere Streuungswert naturgemäß allmählich dem Normalwert, der mit etwa 28 kg/mm² Festigkeit die Nullachse schneidet. Dieser Wert würde der Festigkeit kohlenstofffreien technischen Eisens entsprechen. In Abb. 28 sind in gleicher Weise die Werte für den Zusammenhang zwischen Kohlenstoffgehalt und Dehnung von Siemens-Martin-Material angegeben, hier ergibt sich anscheinend eine gekrümmte Linie. Abb. 29 zeigt den Zusammenhang zwischen Kohlenstoffgehalt und Festigkeit bei Thomasmaterial, soweit er aus den vorliegenden Zahlen ersichtlich war. Für die Dehnung lagen hier zu wenig sichere Werte vor.

In gleicher Weise wurden dann die Häufigkeitskurven

Zahlentafel 9.

Kohlenstofffreie 0,4% C

Festigkeit

Siemens-Martin.

Werks-Nr.	Material	Zahl	Durchschnitt	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	kg/mm ²			
8	Achsen und Reifen	152	52,6																																							
14	Randagen . . .	120	52,28																																							
18	Achswellen . .	60	57,5																																							
18	0,9 % Mn	138	56,9																																							
10	Achsen, siliziert.	300	62,72																																							
10 ^a																																										
16	nahtlose Rohre . .	98																																								

Zahlentafel 10.

Kohlenstofffreie 0,5% C

Festigkeit

Siemens-Martin.

Werks-Nr.	Material	Zahl	Durchschnitt	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	kg/mm ²
8	Schmiedematerial, 0,45 % C. Radreifen, siliziert	250	65,6	1	2	1	4	7	3	7	5	14	14	16	23	23	19	33	49	55	32	71	48	49	38	27	31	17	10	11	5	4	1	2	2
11		300	69,83		4	4	3	3	3	2	3	4	4	7	8	9	21	16	16	18	20	23	19	20	25	16	13	17	5	4					
10a					1	2	5	7	10	6	9	8	19	20	27	42	57	73	85	91	81	102	91	76	63	57	52	30	27	16	9	4	1	2	2

für die Festigkeitsverteilung bestimmter Phosphor-, Mangan-, Schwefel- usw. Gruppen aufgestellt. Eine Anführung der Grundkurven ist aus

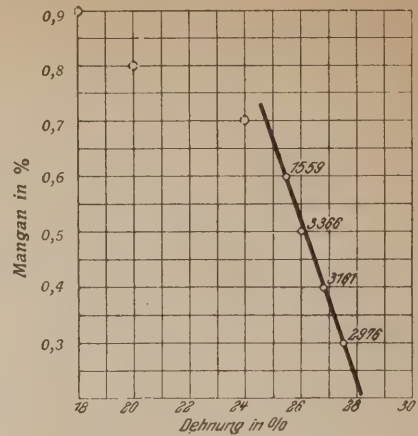


Abb. 31. Mangangehalt und Dehnung.

Raumangel nicht möglich, es seien daher hier nur die Endergebnisse in den Abb. 30 bis 35 wiedergegeben. Es sei hier ausdrücklich vor zu weit-

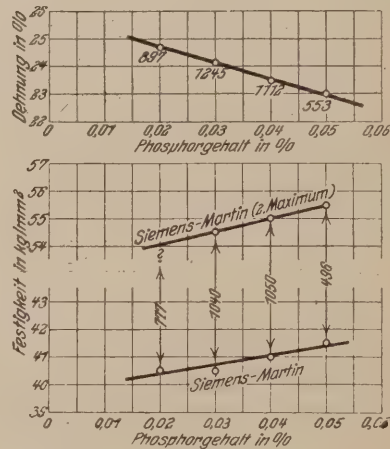


Abbildung 32. Phosphorgehalt und Dehnung.

Abbildung 32. Phosphorgehalt und Festigkeit.

gehenden Schlußfolgerungen gewarnt. Die Punkte und die versuchsweise hindurchgezogenen Kurvenzüge der Kohlenstofffreien geben nur an, welcher

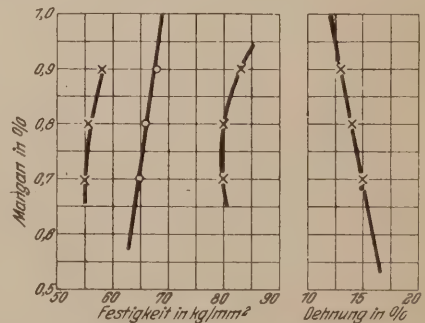


Abbildung 34. Mangan und Festigkeit.

Abbildung 35. Mangan und Dehnung.

Abbildung 34 und 35. Thomasmaterial.

Festigkeitswert normalerweise einem Material der zugehörigen chemischen Zusammensetzung zukommt; bei den Nebenreihen (P, Mn, S) ist nur

Zahlentafel 14.

Siemens-Martin.

Werks- Nr.	Material	Zahl	Durch- schnitt	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	kg/mm2		
14	Vorböcke, Achsen, Rellen	320	21.6							1	—	1	2	5	7	17	23	46	43	50	55	35	22	6	5	2											nor- mal	
11	Schmiedemat., 0.25 % C.	250	21.94									4	11	13	20	24	31	15	25	11	25	18	18	8	7	5	8											
11	Schmiedemat., 0.35 % C.	250	21.4									10	12	19	20	11	25	28	25	21	36	14	16	6	2	3	2											
10		1873				1	9	6	26	27	58	126	157	197	196	139	295	182	138	90	70	40	17	7	13	1	3	1	1	2	1							
10a	Achsen, siliziert,	300	18.27							5	12	24	34	43	46	33	50	27	17	5	5																	
						1	9	6	27	32	71	166	219	283	298	290	447	295	265	182	171	98	57	26	23	9	13	5	1	2	1							
16	nadhöle Rohre	296																																			snor- mal	
18	Bandagen	388	25.00		3	4	5	8	19	22	24	39	48	34	31	27	20	8	3	1	54	56	73	65	44	30	13	6										
18	Bandagen, 0.8 % Mn . .	303	26.2												2	2	6	8	22	8	21	39	45	54	58	28	8	7	12									
					3	4	5	8	19	22	24	39	48	34	35	32	34	22	16	44	63	101	127	123	72	58	21	13	12									

Fortsetzung.

Werks- Nr.	38	39	40	41	42	43	kg/mm ²
14							
11							
11						1	
10							
10a							
						1	

die Richtung der Kurve von Bedeutung, da die tatsächlichen Festigkeiten durch den Kohlenstoffgehalt bestimmt werden. Hierin liegt stillschweigend eingeschlossen, daß z. B. mit steigendem Kohlenstoffgehalt in der Regel auch der Mangangehalt in der Praxis gesteigert wird, so daß die Festigkeitssteigerung praktisch erheblich höher ist, als sie etwa durch Zusatz von Kohlenstoff allein eintreten würde.

Die Normalwerte sind gewonnen unter Berücksichtigung sehr verschiedener Werkstoffe, wie Bleche, Wellen, Achsen usw. Deshalb ist es auch nicht verwunderlich, daß die Normalwerte für bestimmte Sonderstoffe in etwa von den gegebenen Werten abweichen können. So zeigt z. B. Abb. 3 die Häufigkeitskurve der Dehnung von Blechen mit 0,08 bis 0,14 % C. Wie man sieht, liegt hier der Höchstwert bei 31 % Dehnung, während er in der Gesamtkurve mit 30 % Dehnung angegeben wird. Das rührt daher, daß Bleche im allgemeinen absichtlich weicher hergestellt werden als Schmiedematerial und dergleichen. Wei-

Zahlentafel 15.

Siemens-Martin.

[illegible]

Zahlentafel 18.

Siemens-Martin.

Werks-Nr.	Material	Zahl	Durchschnitt	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	kg/mm ²
11	Schmiedematerial, 0,45 % C.	250	17,98						4	15	28	32	27	31	13	15	21	9	20	6	16	8	5	
10*	Radreifen, alliiert	301	14,83	2	2	2	7	11	39	42	43	42	23	28	12	14	17	2	5	2	1	1		
				2	2	2	7	11	43	57	71	74	55	59	25	29	39	11	25	8	17	9	5	

Zahlentafel 17.

Kohlenstoffreihe 0,3% C

Festigkeit

Thomas.

Werk-Nr.	Material	Zahl	Durchschnitt	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	kg/mm ²
5		101							1	2	2	2	1	1	3	7	8	4	9	4	10	13	12	2	2	5	6	3	2								
19		400	60,93						2	4	7	9	10	14	17	21	27	30	34	37	44	34	18	17	15	12	10	5	2								
13		160	61,4						1	1	5	2	3	2	3	9	10	17	15	10	6	4	10	11	6	6	3	1									
2	Schienen	32	61,84						1	1	1	2	2	1	1	2	2	3	3	4	5	1	1	6	3	1											
103	Vorblock, nicht siliziert	300	56,85					5	17	18	27	28	29	34	33	23	19	13	11	11	8	5	7	6	2	1	1	—	1	—	1	—	1	—	1	—	

Zahlentafel 18.

Kohlenstoffreihe 0,4% C

Festigkeit

Thomas.

Werk-Nr.	Material	Zahl	Durchschnitt	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	kg/mm ²
5		97																																	
14	Schienen	460	66																																
19		400	64,79																																
13		187	64,3	1	2	—		1	4	5	2	6	5	10	12	16	22	12	19	14	23	21	15	11	7	4	2	1	1	2	1	2	2	1	
2	Schienen	382	69,69																																
				1	2	1	—	3	7	9	9	17	36	56	73	94	139	102	131	136	132	109	98	108	66	53	42	30	31	16	10	10	9	4	

Fortsetzung.

Werk-Nr.	81	82	83	84	85	86	87	88	89	kg/mm ²
5										
14										
19										
13										
2	5	1	2	1				1	1	
	5	1	2	1				1	1	

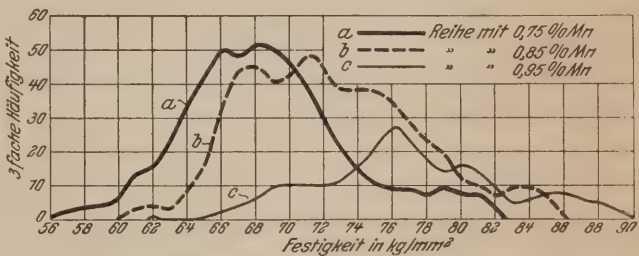


Abbildung 36. Einfluß zweier bewußt hergestellter Qualitäten auf die Form der Mangankurven (3fach gemittelte Kurven).
 Reihe a mit 0,75 % Mn zeigt Höchstwerte zwischen 66 und 69 kg/mm².
 „ c „ 0,95 % Mn bei 76 kg/mm², Reihe b mit 0,85 % Mn zeigt beide Höchstwerte.

Höchstwerte aufweist, läßt den Schluß zu, daß von dem in Frage kommenden Werk in der Hauptsache zwei Qualitäten mit etwa 64 bis 70 und über 74 kg/mm² Festigkeit hergestellt wurden, von denen die erstgenannte normalerweise etwa 0,75 %, die letztgenannte normalerweise 0,95 % Mn enthalten sollte. Eine Rückfrage bei dem Werk bestätigte dies allein aus den Kurven gewonnene Ergebnis.

Statt eines bestimmten Festigkeits-Bestandteils der chemischen Eigenschaften Analyse kann man ebensogut die Häufigkeitskurven nach anderen Eigenschaften variieren lassen. In Abb. 37 sind z. B. Häufigkeitskurven für die Festigkeits- und Dehnungswerte von Ble-

tere Unterschiede liegen in der Ausbildung der Probeform, dem Grad der Durcharbeitung und der Wärmebehandlung.

Es empfiehlt sich also nunmehr für jedes Einzelwerk, festzustellen, wie weit die eigenen Streuungen für Sonder- und Normalwerte für bestimmte Sondergüten von stoffe und Einzelwerke. dem allgemeinen Normalwert für Eisen abweichen, da gerade diese Abweichungen wertvolle Schlüsse zulassen.

Die Abweichungen sind besonders stark für den Einfluß der Nebenbestandteile außer Kohlenstoff auf die Festigkeitseigenschaften. Zahlentafeln 4 und 5 zeigen z. B. die Normalwerte der Mangan- und Phosphorreihe eines Werkes, wie sie für Siemens-Martin-Bandagen gewonnen wurden. Wie man sieht, tritt hier mit steigendem Mangangehalt und in geringerem Maße mit steigendem Phosphorgehalt sogar eine Erhöhung der Dehnung ein, ein Ergebnis, das allen bisher bekannten widerspricht und nach Ansicht des Werkes wahrscheinlich seine Ursache in der verschiedenen Schmiedetemperatur und Wärmebehandlung hat. Gerade solche normalen Ergebnisse sind aber natürlich in besonderer Weise geeignet, wertvolle Rückschlüsse für den Herstellungsgang zu geben.

Abb. 36 zeigt noch, wie sich der Einfluß bewußt hergestellter Qualitäten auf die Form der Mangankurven bemerkbar macht. Die Tatsache, daß die Reihe A mit 0,75 % Mn Höchstwerte zwischen 66 und 69 kg/mm² zeigt, die Reihe C mit 0,95 % Mn, dagegen bei 76 kg/mm², während Reihe B mit 0,85 % Mn beide

Einfluß der Qualitäten.

Zahlentafel 19.

Kohlenstofffreie 0,5% C Festigkeit

Thomas.

Werke- Nr.	Material	Zahl	Durch- schnitt	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	kg/mm ²
14		57	70.3	1	1	—	—	1	1	1	1	1	3	2	1	4	7	6	5	8	2	7	3	1	1											
2	Schienen	171	72.89	1	1	—	—	1	1	2	2	4	4	3	3	3	7	7	7	9	7	13	15	14	12	9	16	5	9	8	4	4	4	1	1	1
				1	1	—	—	2	1	1	3	1	3	6	4	7	10	13	12	17	9	20	18	15	13	9	16	5	9	8	4	4	4	1	1	1

Portokurven

Ein weiteres Beispiel möge noch zeigen, daß die Großzahlforschung keineswegs auf die Auswertung technischer Messungen beschränkt ist. Abb. 38 zeigt in der stark ausgezogenen Kurve die Häufigkeitswerte für die Gesamtportoausgaben, wie sie aus der Portokasse des Vereins deutscher Eisenhüttenleute in einer Periode konstanter Portogebühren sich zu erkennen gab. Das Auftreten der zwei deutlich ausgeprägten Höchstwerte war zunächst unerklärlich, bis eine

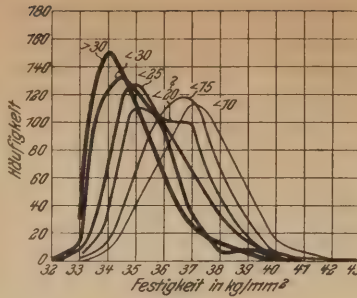


Abbildung 37a.
Festigkeit der Bleche
nach steigender Blech-
dicke (je 400).

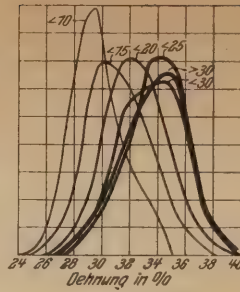


Abbildung 37b.
Dehnung nach steigen-
der Blechdicke
(je 400).

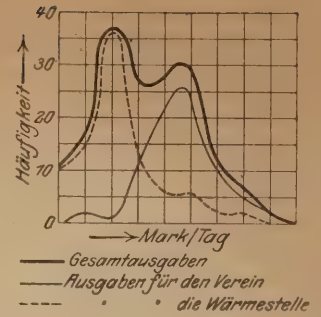


Abbildung 38.
Häufigkeitskurve über die
täglichen Portoausgaben eines
technischen Vereins.
Juni/August 1921.

weitere Unterteilung zeigte, daß der eine Höchstwert sehr genau den Ausgaben des Vereins und der Schriftleitung von „Stahl und Eisen“ entsprach, während der andere seine Ursache in den Portoausgaben für die Wärmestelle hatte. Ein Bearbeiter der Portoausgaben hätte also ohne Kenntnis der näheren Umstände aus der Gesamtkurve mit Sicherheit schließen können, daß hier durch die Portoabteilung zwei Betriebe arbeiteten, die völlig verschiedene Normalzahlen hatten.

Unter Umständen ist eine Inhomogenität der Kurven sehr wertvoll, wenn sie z. B. bei Aufstellungen über eingegangene Gelder, Kundenverteilung und Gläubiger anzeigt, daß die Geldgeber und -nehmer nicht einheitlichen Kreisen angehören. Dann ist auch die Gefahr gleichzeitigen Zusammenbruchs oder gleichzeitiger Kündigungen geringer.

Es liegt auf der Hand, daß ähnliche Zusammenstellungen von Kasseneingängen, Arbeiteranmeldungen, Kundenzahlen, täglichen

Weitere An-
wendungen.

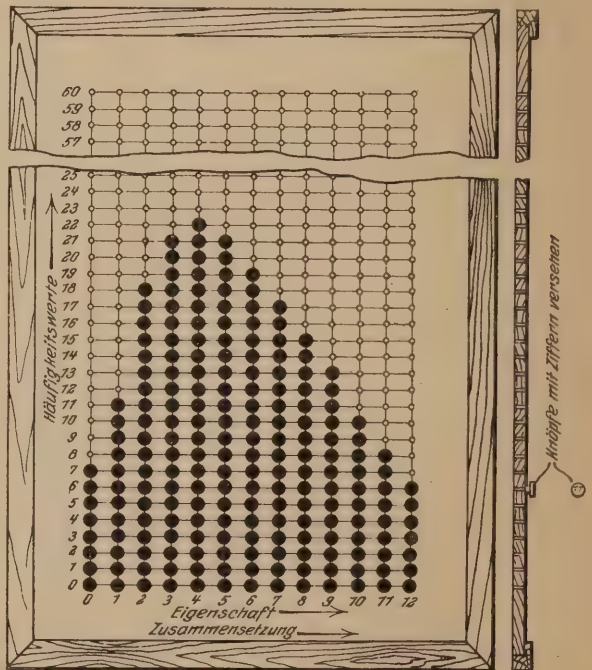


Abbildung 39. Tafel zur laufenden Großzahlüberwachung. D. R. G. M. Nr. 860 016.

Lieferungswerten u. dgl. äußerst wertvolle Rückschlüsse über die Homogenität und Zweckmäßigkeit bestimmter Betriebe geben können.

Laufende Betriebsüberwachung.

Alle bisher ausgewerteten Zahlen sind Unterlagen entnommen worden, die nicht für Zwecke der Großzahlforschung ausgezeichnet waren. Trotzdem konnte man sie in wertvoller Weise verarbeiten. Ganz sicher wird die Großzahlforschung noch viel besser arbeiten, wenn sie von vornherein zur laufenden Betriebsüberwachung eingeführt wird. Hierfür erscheint z. B. die Verwendung sogenannter Großzahltafeln¹⁾ von Bedeutung, wie sie in Abb. 39 dargestellt ist.

Großzahltafel.

Um beispielsweise einen Martinofen oder ein Martinwerk auf den Phosphorgehalt zu überwachen, werden die wagerechten Linien nach den üblichen Phosphorgehalten, wie sie die Chargen aufweisen, eingeteilt, und die verschiedenen Meister oder auch Oefen bekommen eine Farbe zugewiesen. In der Tafel sind an den Schnittpunkten der Ordinaten Löcher gebohrt, in die Knöpfe angebracht werden, die außer der Farbe des Meisters noch die Chargennummer tragen. Fällt nun eine Charge mit 0,030 % P des Meisters „blau“, so wird über der Zahl 0,030 in der ersten wagerechten Linie ein blauer Knopf eingesteckt; fällt die zweite Charge unter dem Meister „rot“ wieder mit 0,030 % P, so wird der zweite Knopf in der gleichen Senkrechten, aber in der zweiten Wagerechten angebracht. Auf diese Weise entsteht allmählich durch das Zusammenwirken der verschiedenen Meister ein farbiges Bild, das in seiner Umhüllenden die stetig wachsende Häufigkeitskurve darstellt. Diese Art Darstellung hat zwei Vorteile: Zunächst kann man durch Vergleich mit der Häufigkeitskurve eines Vormonats oder eines anderen Stahlwerkes jederzeit sofort feststellen, wenn eine oder zwei Chargen aus dem gewohnten Bild herauszuspringen drohen, und kann dann, da man die Wirkung sofort bemerkt, auch rascher der Ursache nachgehen und sie abstellen. Zweitens aber, und das ist ein psychologischer, aber durchaus nicht zu unterschätzender Vorteil, kontrollieren sich die Meister auf diese Weise gegenseitig. Wenn beispielsweise der Meister „blau“ dauernd auf der rechten Seite des Bildes, d. h. bei den höheren Phosphorgehalten überwiegt, so wirft das auf seine Tüchtigkeit ein schlechtes Zeugnis, das ihm und den anderen Meistern stets vor Augen schwebt.

Anwendungsgebiet.

Man sieht aus dem Vorgehenden, daß das Anwendungsgebiet der Großzahlforschung an sich unbegrenzt ist. Nach Czuber liegt überall dort, wo Erscheinungen von besonders verwickelter Verursachung vorliegen, wo eine Trennung der Ursachen und ihre Einzelerforschungen durch das Experiment entweder ausgeschlossen oder erschwert ist, der einzige Weg zur Erkenntnis in der Sammlung von Tatsachen aus dem betreffenden Erscheinungsgebiet. In der neuesten Zeit bedienen sich Physik, Chemie, Psychologie und Erblickheits-

lehre in gleicher Weise statistischer Verfahren. Ja, man ist sogar so weit gegangen, die Zugehörigkeit irgendeines alten, neu aufgefundenen schriftstellerischen Werkes zu einem bekannten Autor dadurch festzustellen, daß man die Häufigkeiten einzelner Wörter mit der Häufigkeit der sicheren Originalwerke verglichen hat.

Erfahrung und Großzahlforschung.

Auf allen Arbeitsgebieten stand stets die Erfahrung hoch im Ansehen, und Großzahlforschung bedeutet nichts weiter als eine zahlenmäßige Erfassung von Erfahrungswerten. Man kann sich vielleicht vorstellen, daß die so hoch geschätzte Erfahrung dadurch zustande kommt, daß die Summe der Einzeleindrücke sich in unserem Gehirn allmählich zu einer Art Häufigkeitskurve zusammenstellen, deren Höchstwert und Grenzen uns im Unterbewußtsein klar sind. Aber leider spielt bei dieser Art Erfahrung allzusehr Neigung und Abneigung, das Gefühlsmäßige mit, d. h., wenn z. B. der Walzwerker den stillen Wunsch hat, daß an der schlechten Verwalzbarkeit seiner Blöcke nur der Stahlwerker schuld sein möge, so stellt er sich unwillkürlich darauf ein, nur noch solche Fehler zu sehen, die im Stahlwerk ihre Ursache haben, und er kommt dann leicht zu dem Schlusse, daß dann alle Fehler auf den Stahlwerker zurückzuführen sind. In der Großzahlforschung tritt eben an Stelle der etwas zweifelhaften gefühlsmäßigen Angaben der persönlichen Erfahrungen der statistische Wert der sachlichen Erfahrung. Und weiter erlaubt die zahlenmäßige Angabe dieser Erfahrung jederzeit überallhin Vergleiche, was bei der persönlichen Erfahrung ziemlich schwierig ist.

Mit Hilfe der Großzahlforschung läßt sich auch feststellen, ob zwischen zwei beobachteten Ereignissen eine Verursachung vorliegt; die Schwierigkeit besteht vielfach darin, zu erkennen, was Ursache und was Wirkung ist, oder, da hierfür nur die zeitliche Aufeinanderfolge entscheidend ist, genau genug die absolute zeitliche Aufeinanderfolge zu bestimmen. Ein Beispiel möge dies näher veranschaulichen. In einem Rohrwalzwerk traten häufig sogenannte Schuppen auf, deren Veranlassung zunächst unbekannt war. Von einer bestimmten Chargennummer an nahm die Schuppenbildung auffallend ab. Zufällig wurde, ohne Zusammenhang mit dem Suchen nach der Ursache der Schuppenbildung, im Stahlwerk gleichzeitig eine Untersuchung vorgenommen, wieweit sich der Siliziumgehalt des zuerst gegossenen Gespanns von dem zuletzt gegossenen unterschied. Die durch mehrere Wochen hindurch entnommenen Analysenproben ergaben zunächst ein unregelmäßiges Schwanken. Bald hatte das letzte Gespann mehr, bald weniger Silizium als das erste. Von einer bestimmten Schmelzung an zeigte sich hier jedoch nur noch ein Mehrgehalt oder ein Gleichbleiben an Silizium. Es wurde nun festgestellt, daß diese Änderung zeitlich zusammentraf mit dem verringerten Schuppenaus-
Suchen nach unmittelbaren und mittelbaren Ursachen.

schuß. Der daraufhin vermutete unmittelbare Kausalzusammenhang zwischen höherem Siliziumgehalt und Schuppen erwies sich aber bei näherer

¹⁾ Die Tafel ist patentamtlich geschützt. Lizenzen für Herstellung und Verwendung werden durch den Verfasser vergeben.

Untersuchung als unrichtig. Schuppen traten sowohl bei Blöcken mit viel als auch mit wenig Silizium auf, sowohl bei solchen aus dem ersten als auch aus dem letzten Gespann. Beide Erscheinungen konnten also, wenn das zeitliche Zusammentreffen kein zufälliges war, höchstens auf eine gemeinsame Ursache zurückgeführt werden, die zeitlich vor dem Verbießen liegen mußte. Damit war ein wichtiger Anhalt gewonnen.

Genaue Untersuchungen des Einsatzes, der Chargendauer, der Analysen ließen keinen Unterschied der beiden vor und nach dem Eintreten der Ereignisse (Änderung des Schuppenprozentsatzes und der Differenz im Siliziumgehalt des ersten gegen den letzten Block) liegenden Gruppen erkennen. Die Durchschnittswerte waren annähernd gleich. Erst nach genauester Nachprüfung stellte man fest, daß an dem gleichen Zeitpunkt aus Beschaffungsgründen die Silizierung nicht mehr mit 40%igem, sondern mit 70%igem Ferrosilizium vorgenommen wurde. Obwohl der Siliziumgehalt der Blöcke in beiden Fällen der gleiche war, übte also anscheinend der andere Siliziumgehalt des Ferrosiliziums beide Wirkungen aus. Ein Gegenversuch mit 40%igem Ferrosilizium bestätigte die Richtigkeit der Annahme. Sofort wechselte wieder die Siliziumdifferenz zwischen erstem und letztem Block, und ebenso traten mehr Schuppen auf. Der Fall ist deshalb besonders bemerkenswert, weil, wie spätere Untersuchungen vermuten ließen, auch der Gehalt des Ferrosiliziums nur mittelbar die Ursache war. Wahrscheinlich bewirkt er eine erhebliche Veränderung der Gießtemperatur, die ihrerseits die Gasentwicklung und Primärkristallisation der Blöcke ebenso entscheidend beeinflusste wie die gleichmäßige Durchmischung des Pfanneninhaltes. Die Vorteile des 70%igen Ferrosiliziums gelten daher zunächst nur für die besonderen Verhältnisse (Block-, Kokillen-Abmessungen, Verwalzungsart usw.) des untersuchten Betriebes. Eine Verallgemeinerung ist unzulässig.

Das Beispiel wurde angeführt, um zu zeigen, daß in der Industrieforschung oft der unmittelbare Kausalzusammenhang nicht das Wichtigste ist. Ist einmal die primäre Ursache erkannt, so kann man sie und damit die Wirkung bewußt ändern, auch ohne daß die engeren Kausalzusammenhänge festgestellt sind.

Eigenchaft — Zeitkurven. Die Beobachtung von plötzlichen und periodischen Schwankungen von Kurven, die durch zeitliche Aufzeichnung von Ereignissen oder Beobachtungswerten entstanden sind, ist ein wichtiges Feld der Großzahlforschung. Man gewöhne sich daran, auch die verschiedenartigsten Kurven zu vergleichen, da die Übereinstimmung von Schwankungen oft die wertvollsten Schlüsse zuläßt.

Korrelation. Die Feststellung, ob zwischen zwei oder mehreren zeitlich oder der Größe nach aufgetragenen Reihen von Beobachtungsdaten Beziehungen — Korrelationen — bestehen, erfolgt am einfachsten durch Vergleich der entsprechenden graphischen

Kurven; man wird meist angenähert feststellen können, ob die beiden Kurven einen parallelen oder auch antagonistischen Verlauf zeigen, d. h. ob einem

Wellenberg der einen Kurve meist oder stets ein Wellenberg bzw. Tal der zweiten Kurve entspricht, die gegebenenfalls auch bei zeitlicher Auftragung verschoben sein können, oder aber ob keine Beziehung vorhanden ist (Abb. 40).

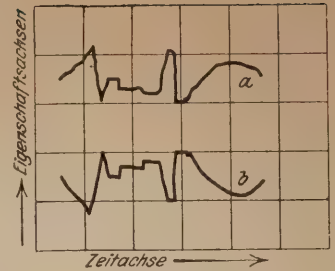


Abbildung 40.
Schema zur Erläuterung der Korrelationen.

a = Bezugscurve; b = Kurve mit fast vollständiger negativer Korrelation (antagonistische gegenläufige Kurve) (Korrelationskoeffizient -1).

Die genaue Feststellung der Korrelation, **Korrelationskoeffizient.** die einen Maßstab dafür bildet, in welchem Grade sich die beiden Reihen voneinander unterscheiden, erfolgt durch Berechnung der sogenannten Korrelationskoeffizienten, deren Erläuterung hier zu weit führen würde¹⁾. Er wird gegeben durch die Bravais'sche Formel:

$$r = \frac{\sum \left(\frac{\sum x_1}{n_2} - x_1 \right) \cdot \left(\frac{\sum x_2}{n_1} - x_2 \right)}{\sqrt{\sum \left(\frac{\sum x_1}{n_1} - x_1 \right)^2 \cdot \sum \left(\frac{\sum x_2}{n_1} - x_2 \right)^2}}$$

worin

r = Korrelationskoeffizient

x_1 = Maßzahlen der ersten Reihe

x_2 = Maßzahlen der zweiten Reihe

n_1, n_2 = Gesamtanzahl der Meßergebnisse der ersten bzw. zweiten Reihe.

Wird $r = +1$, so bedeutet dies völlige Deckung beider Reihen, $r = 0$ bedeutet keine Übereinstimmung, d. h. eine solche, wie man sie auch bei rein zufälliger Anordnung erhalten würde, $r = -1$ bedeutet vollständige, aber negative Korrelation, d. h. jedem Höchstwert der ersten entspricht ein Niedrigstwert der zweiten Reihe. Ein Korrelationskoeffizient von 0,85 bedeutet schon hohe Übereinstimmung.

In diesem Zusammenhang sei darauf **Graphische Darstellung.** hingewiesen, daß der graphischen Darstellung von Betriebsergebnissen und Betriebszahlen eine immer wachsende Bedeutung zukommt. Der Punkt und vor allem die Linie und Fläche im Koordinatennetz haben vor der Zahl den großen Vorteil, daß sie sofort mit den zeitlich oder sonstwie anders gelagerten Werten verglichen werden und leicht Inter- oder auch Extrapolationen zulassen. Zudem läßt sich eine weit größere Anzahl Werte bei geschickter Anordnung gleichzeitig erfassen und auswerten, und endlich sind graphische Darstellungen auch für denjenigen, der nicht un-

¹⁾ Es sei dazu auf die §§ 4 bis 7 des Buches von Czuber: „Die statistischen Forschungsmethoden“, Wien 1921, verwiesen. Vgl. auch O. Lipmann: „Abzählende Methoden...“, Leipzig 1921.

mittelbar über die Gewinnung der einzelnen Beobachtungsdaten im Bilde ist, erheblich eindringlicher und wirksamer. Je mehr Einzelzahlen an den leitenden Stellen zusammenlaufen, um so mehr sollten diese Veranlassung nehmen, sich weitestgehend graphischer Darstellungen unter Umständen unter Verwendung von beweglichen Fäden, Scheiben u. dgl. zu bedienen¹⁾.

Die technische Leitung ist bei Fülle der Einzelzahlen heute auch gar nicht mehr in der Lage, sich gefühlsmäßig darüber klar zu werden, ob die vorgelegten Zahlen über Rohstoffzusammensetzungen, Arbeitstemperaturen, Zwischenerzeugnisse, die Werte für Kohlen- und Kraftverbrauch, für die Haltbarkeit und Lebensdauer von Maschinenteilen innerhalb der gewünschten Streuungsgrenzen liegen oder ob nicht die äußersten vielleicht noch gerade zugelassenen Werte gefährlich oft vorkommen. Sie kann ohne besondere Hilfsmittel kurz gesagt nicht mehr beurteilen, ob das Werk mit der im Interesse der Wirtschaftlichkeit erwünschten Gleichmäßigkeit arbeitet. Es empfiehlt sich daher für alle leitenden Stellen die laufende Führung von Großzahltafeln oder ähnlichen Darstellungen.

Das gilt in ähnlicher Weise auch für die kaufmännischen Abteilungen, um den täglichen Versand, die eingehenden Bestellungen und die Arbeitsleistungen auf ihre Gleichmäßigkeit zu überwachen und Schwankungen rechtzeitig entstehen sehen und aufnehmen zu können.

Eignung zur Großzahl- Es wäre ein Irrtum, anzunehmen, daß
forschung. Großzahlforschung am besten von Stellen ausgeführt wird, die sich auf Grund statistisch-mathematischer Vorbildung hierfür beson-

¹⁾ Vgl. hierzu die recht gute Zusammenfassung in dem Werk von Willard C. Brinton: „Graphic Methods for Presenting Facts“. New York 1914.

ders eignen. Eine richtige Würdigung statistischer Werte kann nicht durch einen in der reinen Theorie der Statistik noch so weit vorgebildeten statistischen Fachmann geschehen, sondern nur durch einen Fachmann desjenigen Gebietes, auf dem das statistische Material gesammelt wurde. Die statistische Häufigkeitsforschung erfordert in ihrer Anwendung einen ausgezeichneten Kenner des betreffenden Wissensgebietes, der gleichzeitig mit den statistischen Methoden vertraut ist. Es würde deshalb durchaus zweckmäßig sein, wenn alle Ingenieure, insbesondere aber die Forschungsingenieure schon auf den Hochschulen mit den Grundzügen und Anwendungsarten statistischer Verfahren ausreichend vertraut gemacht würden.

A. Kaufmann bemerkt in seinem Buch „Theorie und Methoden der Statistik“¹⁾ ausdrücklich, daß derjenige, der die erforderlichen mathematischen Kenntnisse besitzt, sich einer besonderen Darstellungsweise der Statistik erfreuen kann. Wer sie aber nicht hat, braucht deshalb nicht darauf zu verzichten, die Probleme in elementarer statistischer Darstellungsweise zu erfassen.

Großzahlforschung kann jeder treiben, der einen Sinn für Kombinieren und Streben nach Erkenntnis hat. Er bedarf keiner großen mathematischen Kenntnisse und gewinnt neue Erfahrungen auf seinem Arbeitsgebiet. Man soll sich aber hüten, aus dem eigenen Arbeitsgebiet mit der Anwendung der Großzahlforschung allzuweit hinauszugehen; denn vielleicht liegt der teilweise Mißerfolg der Wirtschaftsstatistik darin begründet, daß man glaubte, es gäbe Leute, die auf Methoden geeicht sind. Nicht mit einer Methode, sondern nur mit der Anwendung kann der Menschheit auf die Dauer genützt werden.

¹⁾ Tübingen: J. C. B. Mohr, 1923.



3 0112 058795474